

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОМНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, КАК ЭЛЕМЕНТА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

С.Г. Митрошин

FERRY-TRANSPORT LOGISTICAL SYSTEMS, AS INNOVATIVE ELEMENT OF RIVER TRANSPORT DEVELOPMENT
«Volga state academy of water transport»
S.G. Mitroshin

Publication includes questions of organizing ferry-transport logistical systems for cargo transit motor transport delivery along internal waterways.

Рассматриваются вопросы организации перевозок грузового транзитного автотранспорта с помощью паромно-транспортной логистической системы, на внутренних водных путях параллельно автодорогам.

До перехода к рыночной экономике в стране административным и бюджетным методами поддерживался рациональный баланс в использовании и развитии всех видов транспорта. Это позволяло в необходимой степени использовать достоинства отдельных видов транспорта и компенсировать их недостатки. Однако после перехода к рыночной экономике роль государства в регулировании транспортного процесса сократилась. Особенно наглядно это видно на примере внутреннего водного и автомобильного транспорта.

В рыночных отношениях внутренний водный транспорт, благодаря высоким налогам, большой стоимости единицы транспортного средства, длительным сроком ее окупаемости, сезонности работы, низким скоростям доставки генеральных грузов, отсутствию перевозки их от двери производителя до двери покупателя, резко сократил объем перевозок. В настоящее время он составляет 153,5 млн. т, причем по данным Минтранса за 2007 г., наибольшую долю среди перевозимых грузов (91,3%) составляют сухогрузы, из них более 50% – низко-тарифицированные строительные грузы (таблица).

Однако, многочисленные исследования и зарубежный опыт [1, 2] показывают, что внутренний водный транспорт имеет большой потенциал развития, благодаря, например, использованию принципов логистики и организации на их основе мультимодальных перевозок высокотарифицированных грузов [3, 4].

В то же время автомобильный транспорт за счет сравнительно низкой стоимости единицы транспортного средства, короткого срока окупаемости и возможности быстро пополнять количество автомобилей, получил широкое распространение. Это позволило автомобильному транспорту в короткие сроки в несколько раз увеличить объемы перевозок и тем самым практически полностью вытеснить внутренний водный транспорт с рынка перевозок генеральных грузов.

Сегодня автомобильный транспорт обеспечивает 83% грузоперевозок в стране. Около 60% импортных грузов, доставляемых в морские порты Российской Федерации, затем перевозятся по автомобильным дорогам.

Численность парка автотранспортных средств уже сегодня достигла 34 млн. автомобилей, прогноз на 2015 год – 48,4 млн. Сегмент рынка, связанный с приобретением автомоби-

Таблица – Объём перевозок грузов внутренним водным транспортом по видам грузов за 2000-2007 гг., млн. т

Род груза	2000	2005	2006	2007
Всего, в том числе:	116,8	108,3	139,2	152,4
– Нефтегрузы	11,8	17,2	13,9	9,75
– Плоты	2,5	1,9	1,7	3,54
– Сухогрузы, в том числе	102,5	89,2	123,6	139,07
– зерно	1,6	3,1	3,3	2,34
– комбикорм	0,16	0,3	0,27	0,171
– уголь и кокс	3,3	2,8	3,4	2,67
– лесные в судах	6,0	5,2	6,0	7,3
– металлы чёрные	3,5	3,0	2,8	4,19
– руда	0,13	0,53	0,81	0,48
– минерально-строительные	63,5	62,3	93,3	103,5
– цемент	0,1	0,16	0,17	0,42
– удобрения	2,9	2,7	2,36	2,46
Прочие	21,3	9,2	11,2	15,6

лей и их эксплуатацией достиг в 2006 году 4,5 трлн. руб. или 16% ВВП. Это расходы на топливо и масла, запасные части, техническое обслуживание автомобилей, автострахование. Этот рынок сопоставим по объему с российским рынком экспорта сырой нефти, нефтепродуктов и газа, который составляет 18,6% ВВП.

Однако, в настоящее время, такое распределение сегментов Рынка транспортных услуг (РТУ) отрицательно сказывается на эффективности работы транспортной отрасли в целом, так как:

- удельные транспортные издержки в цене конечной продукции в РФ составляют в среднем 20%. В экономически развитых странах – около 7-10%;

- коммерческая скорость движения грузовых потоков составляет 700 км/сутки. В развитых странах она сейчас достигает 1400 км/сутки [5].

Все это накладывает существенные ограничения на конкурентоспособность продукции российских предприятий, приводит к замедлению роста качества жизни населения.

Протяженность сети автомобильных дорог федерального значения по оперативным данным на 01.01.2007 г. составляет 47300 км. При этом на них приходится свыше 40% объемов грузоперевозок автомобильным транспортом, в том числе практически 100% международных автомобильных грузоперевозок [6].

Вместе с тем, состояние автомобильных дорог не удовлетворяет растущим потребностям государства и экономики. Около 56% протяженности сети федеральных автодорог имеют неудовлетворительную прочность дорожных одежд, 37% – неудовлетворительную ровность дорожных покрытий. Участки концентрации дорожно-транспортных происшествий составляют в общей сложности 8% протяженности федеральных дорог. Около 30% протяженности федеральных дорог обслуживают движение в режиме перегрузки, то есть 50% общего объема перевозок по федеральным автодорогам осуществляется с существенными потерями времени перевозчиков [7].

Доля дорожно-транспортных происшествий, сопровождаемых неудовлетворительными дорожными условиями, составляет 24% от общего количества ДТП.

При сохранении тенденций развития и модернизации дорожной сети и темпа роста автомобилизации, уже к 2015 году можно прогнозировать, что [7, 8]:

- протяженность федеральных автодорог с превышением нормативной загрузки возрастет в 1,4 раза, что приведет к снижению средней скорости движения на дорогах страны на 20%;

- свыше 80% протяженности автомобильных дорог не будут соответствовать нормативным требованиям по транспортно-эксплуатационным показателям;

- будут иметь место значительные разрушения дорожной сети;

- количество ДТП по дорожным условиям возрастет на 15-20% по сравнению с существующим уровнем;

- повысится тяжесть последствий дорожно-транспортных происшествий.

Уже в настоящее время 30% федеральных дорог работают в режиме перегрузки. Кроме того, наиболее загруженные федеральные автомобильные дороги на значительном протяжении проходят по территории городов и других населенных пунктов [7-9]. Сложившаяся ситуация вызывает проблемы не только со стоимостью и скоростью доставки грузов, но и с экологией, безопасностью жизни населения в мегаполисах и транспортных узлах. Указанные проблемы приводят транспортные системы на грань остановки. Сейчас эту задачу принято решать только с помощью строительства дорогостоящих объездных путей. При этом увеличивается длина маршрутов, что приводит к снижению скорости доставки и экономическим потерям, не устраняя основную причину – перегрузку автомобильных дорог, при существующем соотношении темпов роста автомобилизации, строительства и ремонта дорог.

Выходом из сложившейся ситуации может являться создание паромно-транспортных логистических систем (ПТЛС) на внутреннем водном транспорте и организация на их основе перевозок транзитных автопоездов на участках внутренних водных путей, параллельно которым проходят автодороги с повышенной транспортной напряженностью. Анализ сети внутренних водных путей показал, что на большинстве участков Единой глубоководной системы европейской части России такая возможность имеется.

Паромно-транспортные логистические системы (ПТЛС), отличаются от паромных систем (переправ), так как предназначены не только для преодоления водных преград, но и для транспортировки автотранспорта по внутренним водным путям в обход лимитирующих участков наземной автодорожной сети. Одновременно паромно-транспортная система отлича-

ется также и от мультимодальной перевозки накатных генеральных грузов, так как автотранспорт перевозится судами – паромными на определенных участках его маршрута, вне зависимости от груза, находящегося на борту автопоездов, начального и конечного пунктов следования. Таким образом, паромно-транспортная система сочетает в себе свойства как паромных переправ, так и мультимодальных перевозок, потому что суда – паромы движутся по расписанию, а в перевозке участвуют два вида транспорта.

Опираясь на вышесказанное, принцип действия паромно-транспортной логистической системы можно описать следующим образом:

1 Судоходная компания (владелец флота), заключает договора с транспортно-экспедиционной компанией (владелец автопоездов) для перевозки автотранспорта на определенных участках маршрутов по внутренним водным путям.

2 Грузеный (порожний) автопоезд движется до пункта погрузки на судно, принадлежащее судоходной компании.

3 В пункте погрузки автопоезд, включающий тягач и полуприцеп, самостоятельно грузится на судно. Водитель размещается в пассажирской каюте.

4 Автопоезд, после выполнения необходимых формальных процедур, транспортируется на судне до пункта выгрузки.

5 В пункте выгрузки автопоезд самостоятельно выгружается с парома и движется к грузополучателю по автодороге.

Иными словами, участок водного пути становится «плавающим шоссе» для автопоездов, одновременно, на всех таких маршрутах количество водителей возможно сократить до одного (согласно международному законодательству по режиму труда водителей грузового автотранспорта время, проведенное водителем в каюте парома засчитывается как отдых), кроме того во время транспортировки у автовладельцев отсутствуют расходы на ГСМ, износ шин, амортизацию и текущий ремонт автотранспорта.

В качестве успешного примера таких перевозок можно привести опыт работы транспорта на р. Лена, где автопоезда и другой автотранспорт на речных судах сплавляются со скоростью более 20 км/ч по реке. Также на р. Обь различная гусеничная и колесная техника, автотранспорт перевозится речными судами (составами) по маршрутам: пос.Серегино-Салехард, пос.Серегино-пос.Белоярский [10]. Такая необходимость возникла в связи с трудностями доставки грузов с юга на север.

Согласно приведенным выше материалам в Европейской части России складывается обстановка близкая к этой ситуации из-за перегрузки основных федеральных магистральных автодорог.

Таким образом, в России, в ряде водных бассейнов назрела необходимость организации паромно-транспортных логистических систем (ПТЛС) для перевозки автопоездов параллельно федеральным автодорогам по внутренним водным путям с использованием специальных речных судов. Они позволят:

- обеспечить работой внутренний водный транспорт, за счет привлечения дополнительного объема высокотарифицированных генеральных грузов;
- уменьшить расходы автоперевозчиков, экспедиторов, потребителей и грузовладельцев;
- разгрузить автодороги в самые напряженные весенне-осенний и летний сезоны;
- повысить безопасность движения на дорогах;
- значительно улучшить экологическую обстановку в городах и в районе шоссейных дорог, и в целом будут способствовать достижению показателей, заложенных в Проекте Транспортной стратегии 2030.

«Удельные транспортные издержки в цене конечной продукции должны снизиться на 15 %; Коммерческая скорость движения грузовых потоков предположительно составит 1000 км/сутки; Складские запасы для гарантированного товарного производства сократятся до 3-6 дней; Коэффициент использования пробега с грузом и коэффициент использования грузоподъемности будут доведены до 0,7, движение товаров в пути возрастет до 20 ч в сутки» [5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Quand le Rhin se fait autoroute. Avec deux convois Rhine Ro-Ro Service peut acheminer 14 000 semi-remorques/an entre Mannheim et Rotterdam // Rev. navig. Ports et ind. -1985. -

Vol.57, №18. -P. 601.

2 Накатные перевозки по р. Рейн == Ro/Ro-Ein neues Transportsystem auf dem Rhein // Dtsch. Kustenschiffahrt. -1985. -№5. -S. 120.

3 Развитие мультимодальных технологий на внутреннем водном транспорте на основе использования новых типов судов / Н.А. Ефремов [и др.] // Тезисы докладов Международного конгресса «Великие реки», 22-23 мая 2008 г.

4 Развитие речного транспорта в XXI веке – новые технологии / Н.А. Ефремов [и др.] // Вестн. трансп. Поволжья. -2008. -№4(16). -С. 56-62.

5 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года: проект / М-во трансп. Рос. Федерации. -М., 2008. -83 с.

6 Стратегическое планирование мультимодального грузового транспорта: проект ТАСИС TNRUS 9804 / Администрация Нижегород. обл. -Н. Новгород, 1999. -С. В1-В41.

7 О развитии транспортной системы России на период 2010-2015 годов [Электронный ресурс]: докл. министра трансп. Рос. Федерации Игоря Левитина на заседании Правительства Рос. Федерации 24 апреля 2008 г. -Режим доступа: www.mintrans.ru.

8 Доклад руководителя Федерального дорожного агентства О.В. Белозерова на Всероссийской научно-практической конференции 04.03.2005 г.

9 Строительство Центральной кольцевой автодороги Московской области (ЦКАД): по итогам интервью министра стр-ва Правительства Моск. обл. Е.В. Серегина.

10 Малышкин, А.Г. Проблемы речных пассажирских перевозок в регионах с ограниченно развитой сетью наземного транспорта / А.Г. Малышкин, С.Г. Сандулов // Реч. трансп. (XXI в.). -2009. -№ 1. -С. 30-33.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *перспективы развития паромно-транспортных логистических систем на речном транспорте, паромные перевозки*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Митрошин Сергей Григорьевич, аспирант ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

ВЫБОР Пассажирами Маршрута Передвижения в случае функционирования двух систем пассажирского транспорта

ГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет»

М.Е. Корягин, А.А. Нестерова

PASSENGERS' ROUTE CHOICE IN CONDITIONS OF TWO TYPE OF OPERATORS OF PUBLIC TRANSPORTATION

«Kuzbass state technical university»

M.E. Koryagin, A.A. Nesterova

Mathematical model of distribution of passengers flow for two types of public transportation is constructed. The model properties are allowed to prove existence of Nash equilibrium in the market of public transportation.

Построена математическая модель формирования пассажиропотоков муниципального транспорта и маршрутных такси. Модель обладает свойствами позволяющими доказать существование равновесия Нэша на рынке городского пассажирского транспорта (ГПТ).

Перемещение населения является важным фактором, влияющим на развитие городской среды. Основной движущей силой данного процесса является потребность человека в перемещении между определенными пунктами в городе. Наибольшее количество перемещений в российских городах осуществляется с помощью общественного транспорта, поэтому важно описать каким образом человек выбирает маршрут общественного транспорта для передвижения.

Обычно в задачах оптимизации городского пассажирского транспорта (ГПТ) рассматриваются лишь изолированные маршруты [3, 6]. Хотя, как правило, пассажир может выбрать один из нескольких маршрутов для передвижения до места назначения [5].

Представленный в данной статье подход основан на [4]. Отличием является то, что в данной работе пассажиры с более высокой стоимостью времени выбирают передвижение на маршрутном такси, а в [4] предпочитают перемещаться на легковом автомобиле.

В данных условиях обостряется конкуренция между маршрутами городского пассажирского транспорта. Таким образом, необходимо рассмотреть оптимизацию работы транспортных операторов на языке теории игр, недостаточно описанной в литературе [1].

Модель выбора пассажиропотоком маршрута передвижения. При исследовании работы городского пассажирского транспорта начинать следует с самого сложного субъекта в пере-

возочном процессе – пассажира. От того, когда у человека возникнет потребность в перевозке, между какими остановочными пунктами, насколько важна эта поездка, какой вид транспорта предпочтет человек, зависит режим функционирования транспортной системы города.

В данном разделе рассмотрим ситуацию при которой пассажир принимает решение о посадке в транспортное средство, которое может довести до места назначения. То есть в зависимости от стоимости своего времени пассажиры принимают разные решения.

В данном случае необходимо сравнивать выигрыш времени пассажира и оплату проезда. Положим, что пассажиро-час распределен экспоненциально для пассажиропотока. Введем основные параметры, определяющие выбор способа перемещения:

- β – стоимость проезда на муниципальном транспорте;
- $\hat{\beta}$ – стоимость проезда на маршрутном такси;
- μ – интенсивность движения муниципального транспорта;
- $\hat{\mu}$ – интенсивность движения маршрутного такси;
- t – время перемещения при использовании муниципального транспорта (за исключением времени ожидания);
- \hat{t} – время перемещения при использовании маршрутного такси (за исключением времени ожидания);
- γ – средняя стоимость времени перемещения;
- p – вероятность передвижения на маршрутном такси в случае подхода соответствующего ТС муниципального транспорта первым;
- \hat{p} – вероятность передвижения на маршрутном такси в случае подхода соответствующего ТС первым.

Человек заранее определяет способ передвижения (автомобиль или общественный транспорт), зная интенсивность движения транспорта. В модели предположим, что человек не анализирует рискованность поездки (нет чувствительности к риску) и осуществляет выбор способа передвижения на основе средних характеристик. То есть для заданной стоимости времени перемещения осуществляется однозначный выбор способа перемещения.

Предположим, что стоимость времени поездки распределена экспоненциально, тогда муниципальным транспортом пользуется часть населения с меньшими доходами. Цель потока населения – минимизировать суммарные затраты на перемещения, изменяя параметр p . Пусть x – стоимость времени, которая делит население по видам перемещений. Тогда

$$p = \exp\left\{-\frac{x}{\gamma}\right\} \text{ или } x = -\gamma \ln(p).$$

Рассмотрим две ситуации в которых поведение пассажиров может отличаться. Первая из них подошло ТС муниципального транспорта. Рассмотрим ситуация в которой время ожидание маршрутного такси меньше выгоды от использования этого более скоростного вида транспорта, то есть

$$\frac{1}{\hat{\mu}} < t - \hat{t}.$$

Тогда часть пассажиропотока с более высокой стоимостью времени останется дожидаться маршрутного такси. Пусть γ' это то время которое делит пассажиропоток на две категории. Средняя стоимость времени при перемещении на муниципальном транспорте

$$\frac{\int_0^{\gamma'} \frac{x}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx}{\int_0^{\gamma'} \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx} = \frac{1}{1-p} \int_0^{-\gamma \ln(p)} \frac{x}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx = \frac{\gamma + \gamma p \ln(p) - \gamma p}{1-p}.$$

Средние расходы на одно перемещение на муниципальном транспорте состоят из потерь времени и стоимости проезда

$$\frac{\gamma + \gamma p \ln(p) - \gamma p}{1-p} t + \beta. \tag{1}$$

Средняя стоимость времени при перемещении на маршрутном такси

$$\frac{\int_{\gamma}^{\infty} \frac{x}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx}{\int_{\gamma}^{\infty} \frac{1}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx} = \frac{1}{p} \int_{-\gamma \ln(p)}^{\infty} \frac{x}{\gamma} \exp\left(-\frac{x}{\gamma}\right) dx = \gamma - \gamma \ln(p).$$

Средние расходы на одно перемещение с помощью легкового автомобиля

$$[\gamma - \gamma \ln(p)] \left(\hat{t} + \frac{1}{\hat{\mu}} \right) + \hat{\beta}. \quad (2)$$

Суммарные затраты потока на одну поездку – взвешенная сумма затрат на перемещения на ГПТ (1) и (2)

$$[\gamma + \gamma p \ln(p) - \gamma p] t + \beta(1-p) + p[\gamma - \gamma \ln(p)] \left(\hat{t} + \frac{1}{\hat{\mu}} \right) + p \hat{\beta}. \quad (3)$$

Первая производная суммарных затрат (3) на единичную поездку составит

$$\gamma \ln(p) \left[t - \hat{t} - \frac{1}{\hat{\mu}} \right] + (\hat{\beta} - \beta). \quad (4)$$

Вторая производная (3)

$$\gamma \frac{1}{p} \left[t - \hat{t} - \frac{1}{\hat{\mu}} \right] \geq 0. \quad (5)$$

Таким образом, функция затрат на единичную поездку выпукла вниз (5) по параметру p . Или функция выигрыша потока пассажиров выпукла вверх по стратегии потока p .

Приравняв производную (4) к нулю, получим оптимальную вероятность использования маршрутных такси:

$$p = \exp \left[-\frac{(\hat{\beta} - \beta)}{\gamma \left(t - \hat{t} - \frac{1}{\hat{\mu}} \right)} \right]. \quad (6)$$

Рассмотрим второй случай, если первым на остановочный пункт подошло маршрутное такси. В этих условиях по аналогии запишем потери потока пассажиров

$$[\gamma + \gamma p \ln(\hat{p}) - \gamma \hat{p}] \left(t + \frac{1}{\mu} \right) + \beta(1-\hat{p}) + \hat{p}[\gamma - \gamma \ln(\hat{p})] \hat{t} + \hat{p} \hat{\beta}.$$

Первая производная суммарных затрат на единичную поездку составит

$$\gamma \ln(\hat{p}) \left[t + \frac{1}{\mu} - \hat{t} \right] + (\hat{\beta} - \beta). \quad (7)$$

Вторая производная (7)

$$\gamma \frac{1}{\hat{p}} \left[t + \frac{1}{\mu} - \hat{t} \right] \geq 0. \quad (8)$$

Таким образом, функция затрат на единичную поездку выпукла вниз (8) по параметру \hat{p} . Или функция выигрыша потока пассажиров выпукла вверх по стратегии потока \hat{p} .

Приравняв производную (7) к нулю, получим оптимальную вероятность использования маршрутных такси

$$\hat{p} = \exp \left[-\frac{(\hat{\beta} - \beta)}{\gamma \left(t + \frac{1}{\mu} - \hat{t} \right)} \right]. \quad (9)$$

Обобщение модели в городской среде. По аналогии с [4] применение модели выбора маршрута передвижения для построения модели конкуренции транспортных операторов позволит доказать существования равновесия Нэша на рынке городских пассажирских перевозок. Причиной тому доказательство выпуклости вверх функции выигрыша (в данном случае выпуклость вниз функции затрат) пассажиропотока по стратегии (показывающей вероятность выбора способа передвижения).

Заключение. Предложенная в данной статье математическая модель поведение пассажиропотока на остановочном пункте позволяет учесть неоднородность пассажиропотока и определить оптимальное количество пассажиров выбирающих маршрутное такси и муниципальный транспорт. Формулировка целевой функции пассажиропотока через затраты вре-

мени и транспортные расходы позволяет описать поведение пассажиропотока как участника рынка городских пассажирских перевозок. Доказательство выпуклости целевой функции позволит доказать существование равновесия Нэша на рынке транспортных операторов в городах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Hollander, Y. The Applicability of Non-Cooperative Game Theory in Transport Analysis / Y. Hollander, J.N. Prashker // *Transportation*. -2006. -V.33, №5. -P. 481-496.

2 Moulin, H. *Theorie des jeux pour l'économie et la politique* / H. Moulin. -Paris: Hermann, 1981. -248 p.

3 Артынов, А.П. Автоматизация процессов планирования и управления транспортными системами / А.П. Артынов, В.В. Скалецкий. -М.: Наука, 1981. -272 с.

4 Корягин, М.Е. Конкуренция потоков общественного транспорта / М.Е. Корягин // *Автоматика и телемеханика*. -2008. -№8. -С. 120-130.

5 Корягин, М.Е. Оптимизация потоков общественного транспорта в городской среде / М.Е. Корягин, О.С. Семенова // *Вопр. современной науки и практики / Ун-т им. В.И. Вернадского*. -2008. -Т.1 (11). -С. 70-79.

6 Лигум, Ю.С. Автоматизированные системы управления технологическими процессами пассажирского автомобильного транспорта / Ю.С. Лигум. -Киев: Техника, 1989. -239 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: городской пассажирский транспорт, марковские процессы, теория игр

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Корягин Марк Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

Нестерова Анастасия Аркадьевна, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

О РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СФЕРЕ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ГРУЗОВ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.М. Островский, А.М. Лисютин

DEVELOPING NORMATIVE DOCUMENTATION IN THE SPHERE OF DANGEROUS GOODS TRANSPORTATION

«Siberian state transport university»

A.M. Ostrovskiy, A.M. Lisjutin

An increased reliability and safety are to be insured in transporting dangerous goods. The major condition in creating safe transportation technology is the availability of the normative, technical and legal bases which is in conformity with the international standards, availability of the strict requirements for transport means, for preparing transportation of goods, the availability of high skilled personnel.

При перевозке опасных грузов должна быть обеспечена высокая надежность и безопасность. Главным условием в создании безопасной технологии перевозок является наличие нормативно-технической и правовой базы, соответствующей международным регламентам, высоким требований, предъявляемых к транспортным средствам, к подготовке груза к перевозке, достаточно высокой квалификации у лиц, участвующих в перевозочном процессе.

Основной задачей федерального железнодорожного транспорта является своевременное, качественное и полное удовлетворение потребностей народного хозяйства и населения в перевозках, повышение экономической эффективности его работы, обеспечение безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов, снижение отрицательного воздействия транспорта на окружающую среду.

Федеральный закон «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации» ставит вопрос обеспечения безопасности движения в ранг государственной политики, так как железнодорожный транспорт, являясь основой экономических связей, влияет на функционирование всех основных хозяйственных отраслей, включая промышленность, энергетику, сельское хозяйство и оборонный комплекс страны.

В рамках Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России (2002-2010 годы)» в целях беспрепятственного пропуска вагонов в сообщении «Восток-Запад-Восток» необходима гармонизация нормативной базы перевозок опасных грузов в железнодорожном сообщении между странами, подписавшими Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС). При этом необходимо учесть, что за

прошедшее время изменились требования международных регламентов по условиям перевозок опасных грузов, их классификации и маркировки, увеличился перечень опасных грузов, появились новые требования, касающиеся различных аспектов перевозки.

В настоящее время – на заключительном этапе реформы железнодорожного транспорта – перед руководством отрасли стоит ряд важнейших задач, одной из которых является обеспечение безопасной перевозки опасных грузов.

Согласно отчетам ОАО «РЖД» доля опасных грузов в общем объеме перевозок железнодорожным транспортом ежегодно увеличивается.

Однако с увеличением объемов перевозок опасных грузов растет и число аварийных ситуаций при таких перевозках. За 2002-2008 гг. количество инцидентов с опасными грузами варьировалось в пределах 600-800 случаев в год.

Основными причинами, способными привести к возникновению аварийных ситуаций при транспортировке опасных грузов в международном сообщении являются существенные отличия внутренних правил и международной нормативно-технической документации, регламентирующей перевозку опасных грузов по железным дорогам. Основными отличиями являются:

- отсутствие единых критериев отнесения грузов к опасным;
- отсутствие единого перечня опасных грузов, предъявляемых к перевозке;
- отсутствие единой системы классификации опасных грузов по их свойствам;
- отсутствие единых требований к маркировке тары и транспортных средств;
- отсутствие единых требований к таре и упаковке при перевозке опасных грузов;
- различие в подходах к вопросам совместной перевозки опасных грузов;
- отсутствие единого перевозочного документа.

Существующие элементы обеспечения безопасности перевозок опасных грузов требуют совершенствования с постепенным выходом на более качественно высокий уровень развития безопасной технологии, что предполагает:

– совершенствование государственной политики в области безопасной перевозки опасных грузов и защиты населения от чрезвычайных ситуаций техногенного характера, так как пути транспортировки, места погрузки, выгрузки, хранения и переработки опасных грузов практически всегда проходят через населенные пункты, промышленные и экономические центры страны, в непосредственной близости от стратегически значимых объектов, на территории Российской Федерации располагаются более трех тысяч потенциально опасных, химических стационарных объектов, транспортировка грузов между которыми, осуществляется посредством различных видов транспорта;

– подготовку и переподготовку кадров, выполняющих работу с опасными грузами, на основе унифицированных требований ко всем элементам перевозочного процесса и одновременным проведением реорганизации и усиления ведомственного контроля с ужесточением административной и уголовной ответственности для лиц, виновных в нарушении условий перевозки;

– замену морально и физически устаревших технических средств и устройств на более надежные и производительные, установку новых бесперебойных каналов связи, применение информационных и компьютерных технологий.

Для устранения противоречий и обеспечения безопасных условий перевозки опасных грузов как во внутригосударственном, так и в международном сообщении необходимо при дальнейших разработках нормативно-технической документации полнее использовать накопленный международный и отечественный опыт, а также результаты научных разработок в области совершенствования системы перевозок опасных грузов.

Физический износ подвижного состава, технических средств и устройств, неквалифицированные действия причастных работников и другие причины будут и в дальнейшем приводить к возникновению аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов, в связи с чем проблема снижения рисков и повышения безопасности при перевозках опасных грузов железнодорожным транспортом чрезвычайно актуальна, но по целому ряду ее аспектов далека от приемлемого решения. Для устранения недостатков требуются интенсивные целенаправленные усилия и в первую очередь, на уровне федерального законодательства.

В результате реструктуризации железнодорожного транспорта Российской Федерации функция компетентного органа Российской Федерации по перевозкам опасных грузов железнодорожным транспортом была передана вновь созданному структурному подразделению Министерства транспорта РФ – Федеральному агентству железнодорожного транспор-

та. На фоне реформы отрасли появилась острая необходимость в переработке отдельных нормативно-правовых актов, регламентирующих технологию работы железнодорожного транспорта. Так процедура согласования стандартов и технических условий на опасные грузы, средства их упаковки, а также внесение в них изменений в нормативно-технической документации Российской Федерации прописана недостаточно четко, что осложняет процедуру упаковки и транспортировки опасного груза, а, следовательно, – технологический процесс транспортировки опасного груза по железной дороге. В результате чего неудовлетворены грузополучатели, а это, как правило, крупные промышленные предприятия, от слаженной работы которых во многом зависит не только экономическое благополучие, но и обороноспособность страны. Вызывает ряд вопросов и процедура рассмотрения результатов испытаний специализированного подвижного состава и утверждение технических условий его эксплуатации на железнодорожных путях общего пользования, что осложняет ввод в эксплуатацию нового или прошедшего капитальный ремонт подвижного состава, в особенности, предназначенного для транспортировки опасных грузов.

Для исключения избыточных административных барьеров и принятия обоснованных решений в области перевозок опасных грузов в соответствии с договором на выполнение научно-исследовательских работ между Федеральным агентством железнодорожного транспорта и Сибирским государственным университетом путей сообщения были разработаны проекты методических рекомендаций для Федерального агентства железнодорожного транспорта по осуществлению функций компетентного органа Российской Федерации по перевозкам опасных грузов.

Объектом исследования являлись процедуры и порядок:

- согласования стандартов и технических условий на опасные грузы и средства их упаковки;
- рассмотрения результатов испытаний специализированного подвижного состава;
- утверждения технических условий эксплуатации специализированного подвижного состава на железнодорожных путях общего пользования.

Специалистами научно-исследовательской лаборатории «Совершенствование условий перевозок опасных грузов» Сибирского государственного университета путей сообщения проведен комплекс работ, включающий: анализ действующей нормативно-технической документации, регламентирующей перевозку опасных грузов по железным дорогам Российской Федерации, процедуры разработки стандартов и технических условий на опасные грузы и средства их упаковки, процедуры испытаний специализированного железнодорожного подвижного состава и разработку технических условий его эксплуатации.

Разработка проектов Методических рекомендаций проведена в соответствии с рядом нормативных документов Российской Федерации, а также межгосударственных правовых актов.

Основными являются:

1 Федеральный закон от 10 января 2003 г. №17-ФЗ «О железнодорожном транспорте в Российской Федерации»;

2 Федеральный закон от 10 января 2003 г. №18-ФЗ «Устав железнодорожного транспорта Российской Федерации»;

3 Положение о Федеральном агентстве железнодорожного транспорта, утв. постановлением Правительства РФ №397 от 30 июля 2004 г., где в п.5.3.2 Росжелдор уполномочен выполнять в пределах своей компетенции функции компетентного органа Российской Федерации по перевозкам опасных грузов железнодорожным транспортом.

На основании результатов разработаны проекты Методических рекомендаций по согласованию стандартов и технических условий на опасные грузы, средства их упаковки, а также внесение в них изменений и Методических рекомендаций по рассмотрению результатов испытаний специализированного железнодорожного подвижного состава и утверждению технических условий его эксплуатации на железнодорожных путях общего пользования, согласованные в установленном порядке с Ростехнадзором Российской Федерации.

Разработанные в соответствии с действующей нормативно-технической документацией проекты Методических рекомендаций по согласованию стандартов и технических условий на опасные грузы, средства их упаковки, а также внесение в них изменений и Методических рекомендаций по рассмотрению результатов испытаний специализированного железнодорожного подвижного состава и утверждению технических условий его эксплуатации на железнодорожных путях общего пользования, согласованные в установленном порядке с Ростехнад-

зором Российской Федерации будут способствовать:

1 Снижению рисков и повышению безопасности при перевозках опасных грузов железнодорожным транспортом в условиях физического износа подвижного состава, технических средств и устройств, неквалифицированных действий причастных работников и других причин, приводящих к возникновению аварийных ситуаций при перевозке опасных грузов;

2 Гармонизации нормативной базы перевозок опасных грузов в железнодорожном сообщении между странами, подписавшими Соглашение о международном железнодорожном грузовом сообщении (СМГС) с учетом существенных изменений требований международных регламентов по условиям перевозок опасных грузов, их классификации и маркировки, значительного увеличения перечня опасных грузов, появления новых требований, касающихся различных аспектов перевозки опасных грузов железнодорожным транспортом;

3 Беспрепятственному пропуску вагонов в сообщении «Восток-Запад-Восток» в рамках Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России (2002-2010 годы)».

Разработка проектов методических рекомендаций, необходимых для реализации Росжелдором функции компетентного органа Российской Федерации по перевозкам опасных грузов в области железнодорожного транспорта позволит решить ряд серьезных проблем, касающихся подвижного состава, предназначенного для транспортировки опасных грузов, а также средств тары и упаковки данных грузов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *безопасность перевозок на железнодорожном транспорте, опасные грузы, стандарты, технические условия, средства упаковки, испытания подвижного состава*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Лисютин Антон Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ И РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ЛИКВИДНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.А. Шпиганович, В.А. Шилова

FINANCIAL ANALYSIS AND ESTIMATION OF LIQUIDITY LEVELS IN POWER ENGINEERING

«Lipetsk state technical university»

A.A. Shpiganovich, V.A. Shilova

Indicative liquidity ratios of the financial analysis of efficiency of investment projects in electric power industry are considered.

Рассмотрены показательные коэффициенты ликвидности финансового анализа эффективности инвестиционных проектов в электроэнергетике.

Для характеристики ликвидности инвестиций используются показательные коэффициенты: текущей (определяется как отношение текущих активов к пассивам, позволяет оценить действительную платежеспособность энергокомпании при условии, что все оборотные активы, отраженные в балансе, ликвидные, то есть они могут быть превращены в денежные средства), срочной (характеризует способность предприятия выполнять краткосрочные обязательства за счет наиболее ликвидных, текущих активов, определяется как отношение краткосрочных активов или запасов к краткосрочным обязательствам и его значение должно быть в пределах 0,7-0,8) и абсолютной (показывает, какая доля краткосрочных долговых обязательств сможет быть покрыта за счет денежных средств или эквивалентов наличности, то есть абсолютно ликвидных активов, определяется из отношения суммы наличности или эквивалентов наличности к краткосрочным обязательствам; нижняя граница этого показателя 0,2) ликвидности. Чем выше показатели ликвидности, тем больше возможностей у энергокомпании для осуществления краткосрочных обязательств. Это свидетельствует о его способности вовремя и в полном объеме выполнять свои текущие обязательства. Однако, значительное увеличение коэффициентов означает отвлечение денежных средств из оборота, что увеличивает потребность в финансировании оборотных средств.

В основах определения эффективности инвестиционного проекта лежит оценка и сравнение объема предполагаемых инвестиций и будущих денежных поступлений с использованием показателей: чистый дисконтированный доход; индексы доходности; внутренняя норма доходности; срок окупаемости. Расчет уровней ликвидности инвестиций сводится к их аналитическому определению.

Основным показателем, применяемым при расчете эффективности инвестиционного проекта в секторе электроэнергетики, служит чистый дисконтированный доход NPV («Net Present Value»). Он и характеризует превышение суммарных денежных поступлений над суммарными затратами для данного проекта с учетом их разновременности. В случае, когда инвестиции осуществляются единовременно, NPV равен

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0, \quad (1)$$

где CF_t – денежный поток на t -ом шаге;

I_0 – величина инвестиций на первоначальном этапе;

r – норма дисконта;

T – длительность инвестиционного цикла.

В случае, если инвестиции осуществляются по частям в течение нескольких периодов, то NPV рассчитывается по формуле

$$NPV = \sum \frac{CF_t}{(1+r)^t} - \sum \frac{I_t}{(1+r)^t}, \quad (2)$$

где I_t – величина инвестиций на t -ом шаге.

Для признания проекта эффективным с позиции инвестора необходимо, чтобы NPV был положителен (чем больше NPV , тем эффективнее проект). Очевидно, что NPV зависит не только от ожидаемого дохода и размера инвестиций, но и от выбранной нормы дисконта. Чем выше норма дисконта, тем более доходным должен быть и проект, для того чтобы превысить инвестиции, требующиеся для его осуществления.

Таблица 1 – Динамика денежного потока при инвестировании, у.е.

Инвестиционный цикл	1	2	3	4	5
CIF (приток)	1700	2500	2800	2500	1700
COF (отток)	1400	2000	2000	2000	1500
CF (денежный поток)	300	500	800	500	200

Для определения величины NPV предварительно рассчитывают чистый доход NV (Net Value). Рассмотрим показательный пример расчета чистого дисконтированного дохода для инвестиционного проекта, реализуемого в рамках направления «Энергетика и энергосбережение» федеральной целевой программы ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы». Перечислим исходные данные: инвестиционный цикл проекта 5 лет; номер шага t обозначается последовательностью в числах от 0 до 5; инвестиции осуществляются в начальном шаге t_0 и равны 2000 у.е.; норма дисконта 0,1. Денежный поток его реализации характеризуется данными таблицы 1.

Первоначальной оценке подвергается величина чистого дохода

$$NV = CF_5 - I_0 = 300 + 500 + 800 + 500 + 200 - 2000 = 300 \text{ у.е.}$$

Далее рассчитаем чистый дисконтированный доход по (1)

$$NPV = \sum_{t=0}^T \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 = \frac{300}{(1+0,1)} + \frac{500}{(1+0,1)^2} + \frac{800}{(1+0,1)^3} + \frac{500}{(1+0,1)^4} + \frac{200}{(1+0,1)^5} - 2000 = -250 \text{ у.е.}$$

Отрицательное значение чистого дисконтированного дохода показывает неэффективность проекта. Индексы доходности характеризуют и относительную «отдачу проекта» на вложенные в него средства.

Внутренняя норма доходности IRR (Internal Rate of Return) представляет ту норму дисконта, при которой чистый дисконтированный доход за весь инвестиционный цикл равен нулю. IRR определяется при решении следующего уравнения

$$\sum_{t=0}^T \frac{CIF_t}{(1+IRR)^t} = \sum_{t=0}^T \frac{COF_t}{(1+IRR)^t}, \quad (3)$$

где CIF_t, COF_t – соответственно, приток и отток денежных средств на t -ом шаге.

Показатель IRR отражает ожидаемую доходность проекта и значит максимально допустимый уровень расходов на данный проект. Инвестор, принимая решение о реализации проекта, сравнивает значение внутренней нормы доходности с заданной пороговой величиной, определяющей цену капитала (Cost of Capital). Для оценки эффективности инвестиционного проекта значение IRR необходимо сопоставлять с нормой дисконта r . Проекты, у которых IRR больше нормы дисконта, эффективны, и наоборот. Внутренняя норма доход-

ности определяется методом подбора, графически или с применением математических методов. Для наглядного понимания природы данного показателя воспользуемся графическим методом (рисунок). Для проекта с классическим денежным потоком, когда оттоки сменяются оттоками, функция $NPV = f(t)$ является убывающей и график и стремится к оси абсцисс, пересекая ее в некоторой точке r^* , являющейся величиной IRR , то есть $NPV = f(r^*) = IRR$.

Определение внутренней нормы доходности осуществляется методом последовательных итераций. Для этого выбираются два значения нормы дисконта $r_1 < r_2$, таким образом, чтобы в интервале $(r_1; r_2)$ функция $NPV = f(r)$ изменяла свое значение с «+» на «-». Затем применяют следующую формулу

$$IRR = r_1 + \frac{f(r_1)}{f(r_1) - f(r_2)} \cdot (r_2 - r_1), \quad (4)$$

где r_1 – норма дисконта, при $f(r_1) > 0$;

r_2 – норма дисконта, при $f(r_2) < 0$.

Точность вычислений обратно пропорциональна длине интервала $(r_1; r_2)$. Лучший результат достигается, когда он минимален. Например, 2 произвольных значения нормы дисконта 0,2 (20%) и 0,1 (10%). Используя табличные значения, проведем необходимые расчеты (таблица 2).

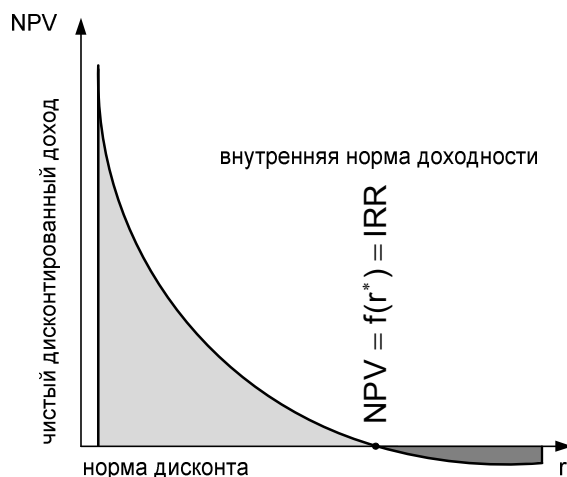


Рисунок – Изменение чистого дисконтированного дохода от IRR

Таблица 2 – К расчетам внутренней нормы доходности инвестпроекта

Год	CF	Расчет 1		Расчет 2		Расчет 3		Расчет 4	
		r, 10%	NPV	r, 20%	NPV	r, 16%	NPV	r, 17%	NPV
0	-10	1,000	-10,0	1,000	-10,0	1,000	-10,0	1,000	-10,0
1	3	0,909	2,73	0,833	2,50	0,862	2,59	0,855	2,57
2	4	0,826	3,30	0,694	2,78	0,743	2,97	0,731	2,92
3	7	0,751	5,26	0,579	4,05	0,641	4,49	0,624	4,37
ИТОГО		–	1,29	–	-0,67	–	0,05	–	-0,14

Значение IRR вычисляется согласно (4) следующим образом

$$IRR = 10\% + \frac{1,29}{1,29 - (-0,67)} \cdot (20\% - 10\%) = 16,6 \%$$

Полученное значение можно уточнить. После нескольких итераций находятся ближайшие целые значения r , при которых NPV меняет знак с «+» на «-».

Тогда $r_3 = 16\%$, $NPV(r_3) = 0,05$ и $r_4 = 17\%$, $NPV(r_4) = -0,14$:

$$IRR = 16\% + \frac{0,05}{0,05 - (-0,14)} \cdot (17\% - 16\%) = 16,26 \%$$

Истинное значение IRR 16,23%. Таким образом, метод последовательных итераций обеспечивает весьма высокую точность.

Наиболее простым и распространенным в практике экономических обоснований инвестиций является показатель срока окупаемости инвестиций – PP (Payback Period). Срок окупаемости инвестиций – ожидаемый период возмещения первоначальных вложений за счет чистого дохода NV . Он показывает временной интервал, в течение которого проект будет работать «на себя», то есть объем генерируемых денежных средств, куда входит сумма прибыли, амортизация, будет идти «на возврат» первоначально инвестированного капитала. Алгоритм к расчетам срока окупаемости зависит от равномерности распределения прогнозируемых доходов от инвестиций.

В случае равномерного распределения дохода по годам срок окупаемости рассчитывается делением единовременных затрат на величину годового дохода, обусловленного ими. Если прибыль распределена неравномерно, то срок окупаемости рассчитывается прямым подсчетом числа лет, в течение которых инвестиция будет погашена кумулятивным дохо-

дом. Общая формула расчета PP имеет следующий вид:

$$PP = \min(t) : \sum_{t=1}^T NV \geq I. \quad (5)$$

В случае различных ежегодных денежных поступлений расчет для каждого интервала планирования из «общего» объема первоначальных затрат вычитается сумма амортизационных отчислений и чистой прибыли, до тех пор, пока остаток не станет отрицательным.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коэффициенты ликвидности, эффективность инвестиционных проектов, электроэнергетика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шпиганович Алла Александровна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
Шилова Вера Анатольевна, соискатель ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ-АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА-СРЕДА-ДРУГИЕ УЧАСТНИКИ ДВИЖЕНИЯ» (ВАДСУ)

ГОУ ВПО «Кузбасский государственный технический университет»

Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова

SYSTEM MODELLING «DRIVER-CAR-ROAD-ENVIRONMENT-OTHER PARTICIPANTS OF MOVEMENT» (DCREP)

«Kuzbass state technical university»

Yu.N. Semenov, O.S. Semenova

Model of system «Driver-Car-Road-Environment-other Participants of movement» (DCREP) is described in article. Key subsystems DCREP parameters are considered. The example of parameters values influence on system DCREP conditions is resulted.

Выполнено описание модели системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда-другие Участники движения» (ВАДСУ); рассмотрены основные параметры подсистем ВАДСУ, приведен пример влияния значений параметров на состояния системы ВАДСУ.

Рассмотрим модель системы «Водитель-Автомобиль-Дорога-Среда-другие Участники движения» (ВАДСУ). Отличие предлагаемой модели от ВАДС [2] состоит в том, что «другие участники движения» выделяются в отдельную подсистему. Это позволяет учесть влияние элементов, входящих в данную подсистему, на уровень безопасности дорожного движения, а также, используя системный подход, описать параметры подсистем ВАДСУ, необходимые для проведения расследования ДТП, и оценить их влияние на переход системы в то или иное состояние.

В предлагаемой модели системы элемент «водитель» (так же как и в ВАДС) управляет исследуемым транспортным средством. Водитель, как элемент системы ВАДСУ большую часть информации получает от подвижных (пешеходы, транспортные средства) и неподвижных объектов на дороге (дорожные знаки, дорожное покрытие). Руководствуясь поступающей информацией, водитель выбирает наиболее оптимальный для данной ситуации способ реагирования, вырабатывает управляющие воздействия на подсистему «автомобиль», осуществляет постоянный контроль за результатами своих управляющих воздействий. Водитель является главным элементом системы ВАДСУ, так как он при возникновении непредвиденных дорожных ситуаций может воспользоваться своим опытом и предотвратить переход системы в нестабильное состояние, что позволит избежать ДТП. Другие подсистемы ВАДСУ либо не могут гибко изменять состояние системы либо не обладают достаточной квалификацией для этого.

Подсистема «автомобиль», в которую принято включать все механические транспортные средства, является управляемой подсистемой ВАДСУ. К подсистеме «дорога» отнесем улично-дорожную сеть, по которой осуществляется движение транспортных средств. К параметрам, характеризующим данную подсистему, следует отнести дорожное покрытие и его характеристики, ширину проезжей части, наличие перекрестков, поворотов и уклонов и т. д. К подсистеме «среда» отнесем все пассивные составляющие ВАДСУ, на которые подсистема «водитель» не оказывает практически никакого влияния: погодные условия, инфраструктуру (здания, сооружения, путепроводы и т.д.).

Подсистема «другие участники движения» является активной составляющей ВАДСУ, так как оказывает непосредственное влияние на элемент подсистемы «водитель». К этой подсистеме следует отнести пешеходов и все те механические и немеханические транспортные средства, которые находятся в пределах взаимодействия с остальными подсистемами ВАДСУ.

Неудовлетворительное состояние или отказ хотя бы одного из элементов системы ВАДСУ неизбежно приводит к опасной дорожно-транспортной обстановке, что может повлечь за собой ДТП.

Состояния системы ВАДСУ. В зависимости от адекватности и своевременности действий водителя исследуемого транспортного средства и элементов подсистемы «другие участники движения» система ВАДСУ может находиться в одном из четырех состояний – стабильном, опасном, аварийном и послеаварийном [3]. Каждое текущее состояние системы является логическим продолжением предыдущего и в свою очередь предопределяет переход в последующее состояние.

Стабильное состояние характеризуется тем, что водитель исследуемого транспортного средства верно реагирует на состояние других элементов системы ВАДСУ, а другие элементы системы – на состояние элемента «водитель». Пусть:

$f_B(A_B, D, C, Y \setminus V)$ – реакция водителя на состояние элементов системы ВАДСУ;

$F_B(A_B, D, C, Y \setminus V)$ – множество возможных верных реакций водителя;

$f_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i)$ – реакция i -го участника движения на состояние элементов системы ВАДСУ, $i = \overline{1, N}$;

N – количество участников движения, взаимодействующих с элементом системы «водитель»;

$F_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i)$ – множество возможных верных реакций i -го участника движения;

Y_i – i -ый участник движения;

$Y \setminus Y_i$ – все участники движения кроме i -го;

$Y \setminus V$ – все участники движения кроме водителя V .

Тогда система ВАДСУ находится в стабильном состоянии, если

$$\begin{cases} f_B(A_B, D, C, Y \setminus V) \in F_B(A_B, D, C, Y \setminus V); \\ f_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i) \in F_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i). \end{cases} \quad (1)$$

Опасное состояние характеризуется тем, что хотя бы один активный элемент системы неадекватно реагирует на состояние других элементов системы (то есть, водитель исследуемого транспортного средства неверно реагирует на состояние других элементов системы ВАДСУ, и/или другие элементы системы ВАДСУ – на состояние элемента «водитель»), однако у одного и/или нескольких элементов системы есть время для перевода системы в стабильное неопасное состояние. Если состояние системы ВАДСУ опасное, то участники движения должны немедленно принимать все имеющиеся в их распоряжении меры для предотвращения ДТП и снижения тяжести последствий. Таким образом, система ВАДСУ находится в опасном состоянии, если

$$\begin{cases} f_B(A_B, D, C, Y \setminus V) \notin F_B(A_B, D, C, Y \setminus V); \\ f_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i) \in F_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i), \end{cases} \quad (2)$$

или

$$\begin{cases} f_B(A_B, D, C, Y \setminus V) \in F_B(A_B, D, C, Y \setminus V); \\ f_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i) \notin F_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i), \end{cases} \quad (3)$$

или

$$\begin{cases} f_B(A_B, D, C, Y \setminus V) \notin F_B(A_B, D, C, Y \setminus V); \\ f_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i) \notin F_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i), \end{cases} \quad (4)$$

при выполнении хотя бы одного условия из группы

$$\begin{cases} t_{p_{y_i}} \leq t'_{p_{y_i}}; \\ t_{p_B} \leq t'_{p_B}, \end{cases} \quad (5)$$

где t_{p_B} – время, имеющееся у водителя для перевода системы в стабильное состояние;

$t_{p_{y_i}}$ – время, имеющееся у другого участника движения для перевода системы в стабильное состояние;

t'_{p_B} – время, необходимое водителю для перевода системы в стабильное состояние;

$t'_{p_{y_i}}$ – время, необходимое другому участнику движения для перевода системы в ста-

бильное состояние.

В опасной дорожной ситуации существует вероятность возникновения ДТП, но участники дорожного движения могут предотвратить его. То есть, из опасного состояния система ВАДСУ может либо вернуться в стабильное, либо перейти в аварийное состояние. Для перехода системы в стабильное состояние необходимо, чтобы водитель или другой участник движения должным образом воздействовал на систему согласно (1).

Если эти меры не приняты или оказались не достаточно эффективными, то в процессе сближения транспортных средств и/или пешеходов система из опасного состояния переходит в аварийное. Аварийной называют такую дорожную ситуацию, при которой участники движения не располагают технической возможностью предотвратить ДТП и последнее становится неизбежным.

Система ВАДСУ переходит в аварийное состояние тогда, когда время, имеющееся для перевода системы в стабильное состояние у водителя t_{pB} и другого участника движения t_{py} становится больше, чем время, требуемое для перевода системы в стабильное состояние (t'_{pB} или t'_{py} соответственно). При этом не важна адекватность действий водителя исследуемого транспортного средства или другого участника движения текущему состоянию других элементов ВАДСУ. Таким образом, условиями перехода системы из опасного состояния в аварийное является следующее выражение

$$\begin{cases} t_{py} > t'_{py}; \\ t_{pB} > t'_{pB}. \end{cases} \quad (6)$$

Послеаварийное состояние системы ВАДСУ является новым стабильным состоянием системы, то есть

$$\begin{cases} f'_B(A_B, D, C, Y \setminus B) \in F'_B(A_B, D, C, Y \setminus B); \\ f'_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i) \in F'_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i). \end{cases} \quad (7)$$

где $f'_B(A_B, D, C, Y \setminus B)$ – реакция водителя на послеаварийное состояние элементов системы ВАДСУ;

$F'_B(A_B, D, C, Y \setminus B)$ – множество возможных верных реакций водителя на послеаварийное состояние элементов системы ВАДСУ;

$f'_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i)$ – реакция i -го участника движения на послеаварийное состояние элементов системы ВАДСУ;

$F'_{y_i}(A_{y_i}, D, C, Y \setminus Y_i)$ – множество возможных верных реакций i -го участника движения на послеаварийное состояние системы ВАДСУ.

Чем полнее и достовернее информация, характеризующая каждое состояние системы ВАДСУ, тем более объективно и всесторонне могут быть изучены причины и детальнее воспроизведен механизм протекания дорожно-транспортного происшествия.

Параметры элементов системы ВАДСУ. Фактическое состояние динамической системы ВАДСУ определяется фактическим состоянием всех ее подсистем. Каждая подсистема может находиться в одном из множества возможных состояний, то есть

$$\begin{cases} B = \{B_1, \dots, B_n, \dots, B_N\}; \\ A = \{A_1, \dots, A_k, \dots, A_K\}; \\ D = \{D_1, \dots, D_m, \dots, D_M\}; \\ C = \{C_1, \dots, C_l, \dots, C_L\}; \\ Y = \{Y_1, \dots, Y_s, \dots, Y_S\}, \end{cases} \quad (8)$$

где B_n – n -ое состояние подсистемы «водитель», $n = \overline{1 \dots N}$;

N – количество возможных состояний подсистемы «водитель»;

A_k – k -ое состояние подсистемы «автомобиль», $k = \overline{1 \dots K}$;

K – количество возможных состояний подсистемы «автомобиль»;

D_m – m -ое состояние подсистемы «дорога», $m = \overline{1 \dots M}$;

M – количество возможных состояний подсистемы «дорога»;

- C_l – l -ое состояние подсистемы «среда», $l = \overline{1..L}$;
 L – количество возможных состояний подсистемы «среда»;
 Y_s – s -ое состояние подсистемы «другие участники движения», $s = \overline{1..S}$;
 S – количество возможных состояний подсистемы «другие участники движения».

В свою очередь, каждое состояние подсистемы характеризуется набором фактических значений параметров, однозначно идентифицирующих это состояние. В общем виде для подсистемы «водитель» можно записать, что

$$B_n = (\epsilon_1^n, \epsilon_2^n, \dots, \epsilon_{N1}^n),$$

где $\epsilon_1^n, \epsilon_2^n, \dots, \epsilon_{N1}^n$ – фактические значения параметров подсистемы «водитель», характеризующие n -ое состояние подсистемы;

$N1$ – количество параметров подсистемы «водитель».

К параметрам, требующим оценки и характеризующим подсистему «водитель», относят время реакции водителя, скорость и точность восприятия и переработки информации, и т.д.

Для подсистемы «автомобиль» можно записать, что

$$A_k = (a_1^k, a_2^k, \dots, a_{K1}^k),$$

где $a_1^k, a_2^k, \dots, a_{K1}^k$ – фактические значения параметров подсистемы «автомобиль», характеризующие k -ое состояние подсистемы;

$K1$ – количество параметров подсистемы «автомобиль».

Параметрами, требующими оценки и характеризующими подсистему «автомобиль», являются: модель транспортного средства; направление и скорость движения; ускорение; замедление; тормозной путь и т.д.

Состояние подсистемы «дорога» однозначно определяется набором параметров и их значений, то есть

$$D_m = (d_1^m, d_2^m, \dots, d_{M1}^m),$$

где $d_1^m, d_2^m, \dots, d_{M1}^m$ – фактические значения параметров подсистемы «дорога», характеризующие m -е состояние подсистемы;

$M1$ – количество параметров подсистемы «дорога».

Параметрами подсистемы «дорога» являются: тип дорожного покрытия; коэффициент сцепления; состояние проезжей части (наличие повреждений, их размеры и координаты расположения); наличие отдельных предметов, затрудняющих движение транспортных средств; размеры проезжей части и прилегающих к ней элементов; продольный и поперечный профили проезжей части; наличие технических средств организации дорожного движения; установленный порядок движения на данном участке проезжей части. К дополнительным параметрам подсистемы «дорога» следует также отнести дату и время ДТП; месторасположения ДТП; следы транспортного средства на проезжей части, их характер, расположение по ширине проезжей части, протяженность; угол и протяженность участка разворота транспортного средства.

Для подсистемы «среда» можно записать, что

$$C_l = (c_1^l, c_2^l, \dots, c_{L1}^l),$$

где $c_1^l, c_2^l, \dots, c_{L1}^l$ – фактические значения параметров подсистемы «среда», характеризующие l -е состояние подсистемы;

$L1$ – количество параметров подсистемы «среда».

К параметрам, требующим оценки и характеризующим подсистему «среда», относят дальность видимости; прозрачность атмосферы; наличие искусственного или естественного освещения; наличие препятствий, ограничивающих обзорность и т.д.

Для подсистемы «другие участники движения» можно записать, что

$$Y_s = (y_1^s, y_2^s, \dots, y_{S1}^s),$$

где $y_1^s, y_2^s, \dots, y_{S1}^s$ – фактические значения параметров подсистемы «другие участники движения», характеризующие s -ое состояние подсистемы;

$S1$ – количество параметров подсистемы «другие участники движения».

Набор параметров, характеризующих подсистему «другие участники движения», зависит от того, к какой категории относится этот элемент системы ВАДСУ. Если в качестве элемента системы ВАДСУ «другие участники движения» рассматривается пешеход, то пара-

метрами, его характеризующими (с позиций дорожного движения), являются: скорость, темп и направление движения, антропометрические характеристики, возраст и т.д. Для транспортного средства (автомобиля, мотоцикла, мопеда) необходимо оценить значения таких параметров, как дистанция, скорость движения, ускорение, замедление, и т.д.

Помимо значений самих параметров элементов системы ВАДСУ большое значение имеет их влияние друг на друга. Например, при одной и той же скорости движения транспортных средств система ВАДСУ может находиться в различных состояниях, в зависимости от дистанции между автомобилями, времени реакции водителя и т.д.

Влияние значений параметров системы ВАДСУ на ее состояние при ДТП с участием пешехода. Наезд транспортного средства на пешехода – один из самых распространенных видов ДТП. Поэтому в качестве примера рассмотрим взаимодействие элементов системы ВАДСУ, если другим участником движения является пешеход. В данном случае «другой участник движения» не управляет средством повышенной опасности – автомобилем. При этом между человеком-пешеходом и человеком-водителем, как основными участниками дорожного движения имеется существенное различие: пешеход при ходьбе выполняет естественные движения и перемещается с естественной для него скоростью, водитель же совершает своеобразные рабочие движения с относительно небольшой нагрузкой, а скорость его перемещения в десятки раз больше естественной.

Рассмотрим вероятность перехода системы ВАДСУ в то или иное состояние в зависимости от скорости движения пешехода и установившегося замедления транспортного средства (рисунок). Пусть подсистемы ВАДСУ имеют следующие значения параметров: расстояние от края проезжей части или полосы движения до автомобиля $\Delta y = 2$ м; длина автомобиля $L_a = 4,9$ м; ширина автомобиля $B_a = 2,2$ м; остановочное время $T = 1,5$ с; скорость движения транспортного средства $V_a = 60$ км/ч.

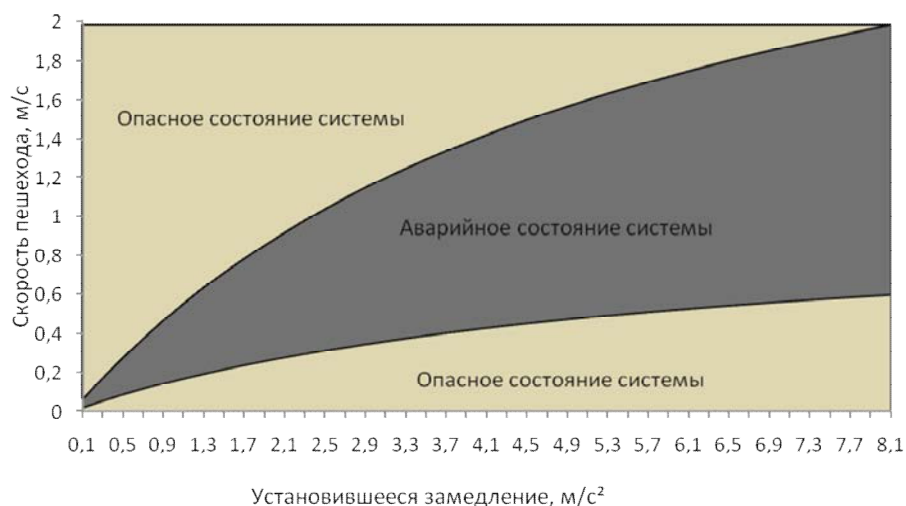


Рисунок – Состояния системы ВАДСУ, в зависимости от скорости движения пешехода и установившегося замедления транспортного средства

При нулевых значениях скорости автомобиля и/или пешехода система ВАДСУ находится в стабильном состоянии. Опасная ситуация возникает в момент выхода пешехода на проезжую часть или полосу движения. Согласно формулам (2)-(5), при возникновении опасной ситуации водитель имеет техническую возможность предотвратить ДТП, то есть

$$S_o < S_{y\partial}, \tag{9}$$

где S_o – остановочный путь транспортного средства;

$S_{y\partial}$ – расстояние, на которое удален пешеход.

Согласно [1] остановочный путь определяется по формуле

$$S_o = V_a T + \frac{V_a^2}{2j}, \tag{10}$$

где V_a – скорость исследуемого транспортного средства.

Из (6) и [1] следует, что система ВАДСУ переходит в аварийное состояние в случае

$$S_o \geq S_{y\partial},$$

и

$$\Delta y - \Delta b \leq S_n \leq \Delta y + B_a + \Delta b. \tag{11}$$

Изменение установившегося замедления от 0,1 до 8 м/с² при прочих равных условиях приводит к следующим результатам: при низких значениях установившегося замедления избежать аварийной ситуации более вероятно путем увеличения скорости пешехода, при вы-

соких значениях – путем уменьшения скорости пешехода (см. рисунок).

Исследование влияния таких параметров подсистем ВАДСУ как скорость движения пешехода, габаритная ширина транспортного средства, установившееся замедление транспортного средства, остановочное время и другие на состояние системы ВАДСУ, позволяет выявить диапазон значений параметров, соответствующих тому, или иному состоянию системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иларионов, В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов. -М.: Транспорт, 1989. -225 с.

2 Клеббельсберг, Д. Транспортная психология: пер. с нем. / Д. Клеббельсберг; под ред. В.Б. Мазуркевича. -М.: Транспорт, 1989. -366 с.

3 Лукошявичене, О.В. Моделирование ДТП / О.В. Лукошявичене. -М.: Транспорт, 1998. -96 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ВАДС, ВАДСУ, состояния системы ВАДСУ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Семенов Юрий Николаевич, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

Семенова Ольга Сергеевна, ст. преподаватель ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 650000, г. Кемерово, ул. Весенняя, 28, ГОУ ВПО «Кузбасский ГТУ»

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЪЕМОВ РАБОТ В ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

«Забайкальский институт железнодорожного транспорта», филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Ю.В. Губанова

A METHOD OF DETERMINATION OF EXPENSES DEPENDING ON WORK LOAD IN JOINT STOCK COMPANY RUSSIAN RAILWAYS

«Zabaikal railway transport institute», branch to «Irkutsk state transport university»

Ju.V. Gubanova

Method more exact calculation of expenses relative to carriage in locomotive department has been suggested on analysis base of expenditure items Nomenclature of incomes and costs of joint stock company russian railways company activities.

Предложена методика более точного расчета расходов в зависимости от объемов перевозки в локомотивном хозяйстве на основе анализа статей Номенклатуры доходов и расходов по видам деятельности ОАО «Российские железные дороги».

Одной из задач любого коммерческого предприятия является подготовка информации для внутренних пользователей, необходимой им для принятия правильных управленческих решений.

Управленческие решения ориентированы на перспективу, поэтому руководству необходима детальная информация об ожидаемых расходах и доходах. В этой связи при выполнении расчетов, связанных с принятием решения, группируют затраты по различным классификационным признакам.

В ОАО «РЖД» в число основных признаков классификации затрат включается их группировка в зависимости от изменения объема выполняемых работ, предполагающая деление затрат на зависящие (переменные) и независящие (условно-постоянные).

Одними из важнейших центров затрат на железнодорожном транспорте являются структурные подразделения локомотивного хозяйства, на долю которых приходится более 25% всех расходов по перевозкам грузов и пассажиров. Поэтому с точки зрения управления затратами именно в локомотивных депо особое значение приобретает точное планирование и определение фактической величины эксплуатационных расходов и, следовательно, себестоимости перевозок.

Значительная часть расходов локомотивных депо зависит от объемов выполняемых работ. Это расходы, связанные с работой локомотивов, их экипировкой, текущим ремонтом и техническим обслуживанием.

В настоящее время зависящую часть расходов определяют по формуле

$$E_3 = (E_э - E_{э_{AM}}) K_3, \quad (1)$$

где E_3 – эксплуатационные расходы, зависящие от изменения объема работ;
 E – общая величина эксплуатационных расходов;
 E_{AM} – эксплуатационные расходы, приходящиеся на амортизацию основных средств;
 K_3 – доля зависящих (переменных) расходов, %.

Соответственно, сумма независящих расходов

$$E_{H3} = (E - E_{AM}) K_{H3} + E_{AM} = E - E_3, \quad (2)$$

где E_{H3} – эксплуатационные расходы, независящие от изменения объема работ;

K_{H3} – доля независящих (условно-постоянных) расходов, %.

Процент зависящих расходов устанавливается вышестоящей организацией для каждой структурной единицы отдельно, в том числе и для локомотивного депо. Как показали исследования, устанавливаемый вышестоящей организацией коэффициент зависящих расходов значительно отличается от фактического.

Для более точного расчета сумм зависящих и независящих расходов обратимся к перечню статей затрат для данных подразделений. Статьи затрат, формирующие показатель величины расходов на перевозки, приводятся во внутрифирменной управленческой отчетности (форме №7у), которая составляется на основании применяемой Номенклатуры доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД» (далее – Номенклатура) [1].

В исследовании была принята группировка затрат по другому признаку классификации, а именно их деление на прямые и косвенные. Под прямыми расходами понимаются те расходы, которые непосредственно относятся на себестоимость оказываемых услуг, а косвенными – расходы, подлежащие распределению между объектами учета, так как их нельзя прямо отнести на себестоимость конкретных видов услуг.

Согласно Номенклатуре расходы по обычным видам деятельности по отношению к производственному процессу подразделяются на специфические, общепроизводственные и общехозяйственные. Первая группа образует прямые производственные расходы, а вторая и третья – косвенные.

Анализ структуры косвенных расходов по основным статьям Номенклатуры позволил сделать вывод, что они не зависят от объема выполняемых работ. Например, такие статьи как:

- 757 «Затраты по оплате труда производственного персонала за непроработанное время»;
- 761 «Охрана труда и производственная санитария»;
- 772 «Арендные и лизинговые платежи»;
- 785 «Содержание персонала, не относящегося к аппарату управления (машинисты-инструкторы)»;
- 809 «Налоги и сборы»;
- 830 «Затраты по оплате труда работников аппарата управления» и др.

Совсем иное значение приобретают прямые затраты, поскольку они включают статьи, отражающие затраты на работу локомотивов в разных видах движения, экипировку локомотивов, их текущий ремонт и техническое обслуживание. Однако в составе специфических расходов содержатся статьи, учитывающие расходы на амортизацию и капитальный ремонт подвижного состава, которые можно принять как условно-постоянные.

Исходя из требований нормативных актов амортизация по основным средствам начисляется ежемесячно. Для подразделений ОАО «РЖД» расчет производится линейным способом и ее сумма не зависит от объема выполняемых работ, а определяется от первоначальной (восстановительной) стоимости с учетом срока эксплуатации объекта.

Капитальный ремонт проводится в соответствии с заранее утвержденным графиком, и объект полностью снимается с производственного процесса.

Следовательно, для более точного расчета расходов в зависимости от объема перевозок можно применить формулу

$$E_3 = E - E_{KB} - E_{PP}^{AM} - E_{PP}^{KP} = E_{PP} - E_{PP}^{AM} - E_{PP}^{KP}, \quad (3)$$

где E_{KB} – косвенные расходы;

E_{PP}^{AM} – прямые производственные расходы, приходящиеся на амортизацию основных средств;

E_{PP}^{KP} – прямые производственные расходы, приходящиеся на капитальный ремонт ос-

новых средств;
 $E_{\text{пр}}$ – прямые расходы.

В таблице для сравнения представлены расчеты зависящих и независящих расходов по существующей и предложенной схеме на примере локомотивного депо г. Читы за 2008 г. (для данного структурного подразделения процент зависящих расходов за годовой период установлен 66,2%, соответственно, независящие составляют 33,8%).

Таблица – Определение расходов локомотивного депо г. Читы в зависимости от изменения объема работ

Наименование показателя	По методике ОАО «РЖД»		По предложенной методике	
	тыс. руб.	удельный вес, %	тыс. руб.	удельный вес, %
Всего эксплуатационных расходов, в том числе	2115004	100,0	2115004	100,0
Прямых производственных расходов, в том числе	–	–	1721512	–
– затраты по элементу «Амортизация»	–	–	265629	–
– затраты на капитальный ремонт	–	–	21374	–
Итого зависящих (переменных) расходов	1212767	57,34	1434509	67,83
Итого независящих (условно-постоянных) расходов	902237	42,66	680495	32,17

Вычисления показывают, что найденные в исследовании значения долей зависящих и независящих расходов существенно отличаются от рассчитанных по применяемой методике в ОАО «РЖД» в настоящее время.

Таким образом, деление расходов на зависящие и независящие, которое применяется в современных условиях, проводится по слишком укрупненной схеме. Изучение данной методики позволяет сделать вывод, что расходы, понимаемые как зависящие от объема перевозок, содержат ряд статей, которые в действительности от него не зависят.

Правильное определение зависимости расходов от объема работ необходимо для более точного расчета основных показателей производственной деятельности ОАО «РЖД», а именно «права» на расходы и себестоимости перевозок.

«Право» на расходы рассчитывают для характеристики выполнения установленного плана путем корректировки плановых расходов в зависящей от объема работ части на выполненный объем перевозок определяют по следующей формуле

$$E_{\text{з}}^{\text{ПРАВО}} = E_{\text{з}_0} \times I_{\sum P_{\text{л}_b}} + E_{\text{нз}_0}, \quad (4)$$

где $E_{\text{з}}^{\text{ПРАВО}}$ – право на расходы с учетом изменения объема перевозок;

$E_{\text{з}_0}$ – плановая величина зависящей от объема работ части расходов;

$I_{\sum P_{\text{л}_b}}$ – коэффициент выполнения объема работ;

$E_{\text{нз}_0}$ – плановая величина независящей от объема работ части расходов.

Относительно себестоимости, необходимо отметить, что с увеличением объема перевозок за счет экономии на независящей от объема работ части расходов она будет снижаться [2]

$$\downarrow C = \frac{\uparrow E_{\text{з}} + E_{\text{нз}}}{\uparrow \sum P_{\text{л}_\text{пр}}}, \quad (5)$$

где C – себестоимость перевозок;

$\sum P_{\text{л}_\text{пр}}$ – объем перевозок.

Соответственно, при снижении объема работ себестоимость, наоборот, увеличивается

$$\uparrow C = \frac{\downarrow E_{\text{з}} + E_{\text{нз}}}{\downarrow \sum P_{\text{л}_\text{пр}}}. \quad (6)$$

Исследования показывают, если плановые величины зависящих и независящих расходов установить на уровне их фактических величин, рассчитанных по предложенной методике, то «право» на расходы будет выше, чем сумма, определяемая по методике ОАО «РЖД». Это утверждение верно только в том случае, если объем выполняемых работ будет перевыполнен, что является дополнительной мотивацией для подразделений, так как сумма финансирования увеличится. В свою очередь, перевыполнение установленного объема работ приведет не только к повышению суммы «права» на расходы, но и к снижению себестоимости.

сти за счет экономии на расходах, не зависящих от объема перевозок. Данный фактор является немаловажным, поскольку в целом себестоимость представляет собой тарифную составляющую услуг, реализуемых населению. Следовательно, чем меньше себестоимость, тем ниже и доступнее стоимость перевозки, что делает железнодорожный транспорт конкурентоспособнее на рынке данного вида услуг.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Номенклатура доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД».

2 Витченко, М.Н. Анализ финансово-хозяйственной деятельности предприятий железнодорожного транспорта: учеб. для техникумов и колледжей ж.-д. трансп. / М.Н. Витченко. - М.: Маршрут, 2003. -240 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *расчет зависящих расходов, расчет независящих расходов, «право» на расходы, себестоимость перевозок*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Губанова Юлия Владимировна, ассистент «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

К ПРОБЛЕМЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА

«Забайкальский институт железнодорожного транспорта», филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

С.Ю. Коренева

A PROBLEM OF PERFECTATION OF SMALL PRIVATE BUSINESS TAXATION

«Zabaikal railway transport institute», branch to «Irkutsk state transport university»

S.Yu. Koreneva

A mechanism of action of common inpute income tax for several activities is considered and ways of its improvement is offered.

Рассматривается механизм действия единого налога на вмененный доход для отдельных видов деятельности, и предлагаются пути его совершенствования.

Доступность малого предпринимательства как сферы деятельности для широкого круга людей обусловлена тем, что его функционирование не предполагает крупных финансовых вложений, не требует больших материальных и трудовых ресурсов.

В цивилизованной рыночной экономике место и роль малого предпринимательства определяются его реальным вкладом в общественное развитие, и играет значительную роль в экономике.

Во многих промышленно – развитых странах малые предприятия производят основную часть ВВП, например: в Японии – 61%, в США – 40% и обеспечивают работой большинство трудоспособного населения: в Японии – 78%, в Италии – 73%, в США – 54%.

В России эти показатели значительно ниже и составляют около 38%, а в исследуемом нами Забайкальском крае итогов ниже.

По данным налоговой службы Забайкальского края на 01.01.2008 г. было зарегистрировано 4020 малых предприятий, на которых занято 33450 работников (около 6,0% всего активного населения), и кроме того 26563 человека занимаются индивидуальной предпринимательской деятельностью.

Из приведенных данных можно сделать вывод, что уровень развития малого предпринимательства в Забайкальском крае явно недостаточен и это объясняется рядом причин.

Все барьеры, препятствующие развитию малого предпринимательства в Забайкальском крае можно условно разделить на внешние и внутренние.

Внешние барьеры в основном связаны с неразвитостью правовой системы, отношений собственности и слабой защищенностью предпринимателей.

Внутренние барьеры – низкий уровень предпринимательской и менеджерской культуры, и содержания экономического образования. Также остается значительной налоговой нагрузка, достаточно сложные процедуры ведения учета и предоставления отчетности, излишне налоговое администрирование.

В настоящее время в России действует три системы налогообложения, применяемые в отношении субъектов малого предпринимательства:

- стандартная система (общепринятая для организаций);
- упрощенная система налогообложения учета и отчетности (далее – УСНО);
- и система налогообложения в виде единого налога на вмененный доход для отдельных видов деятельности (далее – ЕНВД).

Для определения налоговой базы ЕНВД используется формула

$$ВД = БД \cdot (N1 + N2 + N3) \cdot K1 \cdot K2, \quad (1)$$

где *ВД* – величина вмененного дохода;

БД – значение базовой доходности в месяц по определенному виду предпринимательской деятельности;

N1, N2, N3 – физические показатели, характеризующие данный вид деятельности, в каждом месяце налогового периода;

K1, K2 – корректирующие коэффициенты базовой доходности.

В выше приведенной формуле Налоговым кодексом РФ (далее – НК РФ) устанавливается величина базовой доходности в месяц по определенному виду предпринимательской деятельности (далее – *БД*) и физические показатели, характеризующие данный вид деятельности *N*.

Корректирующие коэффициенты *БД* разрабатываются и утверждаются органами власти субъекта Российской Федерации в зависимости от вида предпринимательской деятельности, ассортимента продукции, местоположения, наличия инвалидов в составе работников, от величины заработной платы работников, от площади торгового зала и от количества посадочных мест в организациях общественного питания.

Одним из серьезных недостатков является то, что установленная Налоговым кодексом РФ базовая доходность по видам деятельности в ряде случаев не имеет экономического обоснования, и, в связи с этим, не соответствует реальным результатам предпринимательской деятельности.

Этот вывод подтверждается исследованиями, выполненными на объектах малого предпринимательства. В качестве исследования принята деятельность индивидуального предпринимателя, который занимается розничной торговлей не продовольственными товарами, его вид деятельности попадает под обложение ЕНВД.

Согласно НК РФ гл.26.3 для данного вида деятельности установлена базовая доходность в размере 1800 руб. за квадратный метр в месяц. Предприниматель имеет несколько торговых точек в разных районах г. Читы, соответственно налоговая база будет рассчитываться отдельно для каждого магазина (таблица 1).

Таблица 1 – Формирование единого налога на вмененный доход на конец 2008 г.

Отдел продаж	Базовая доходность	Корректирующий коэффициент		Налоговая база, руб.	Сумма налога, руб.
		<i>K1</i>	<i>K2</i>		
Бизон Смаيلي, Шилова	1 800	1,081	0,271	94916	14237
Пару Поддай, Шилова	1 800	1,081	0,52	75885	11383
Camelot	1 800	1,081	0,208	129552	19433
Fabula	1 800	1,081	0,364	70236	10535
Тарзан	1 800	1,081	0,416	135987	20398
Camelot, Шилова	1 800	1,081	0,33	23116	3467
Партизан	1 800	1,081	0,208	125667	18850
Пару Поддай	1 800	1,081	0,416	133560	20034
Game Vox	1 800	1,081	0,52	89850	13478
Game Vox, Ленина	1 800	1,081	0,32	127770	19166
Уик Энд	1 800	1,081	0,52	81654	12248
Итого начислено:				1 088 193	163 229

*-составлено на основании отчетности индивидуального предпринимателя

Из таблицы 1 видно, что базовая доходность для всех торговых точек одинакова и составляет 1800 руб. за квадратный метр. Величина вмененного дохода зависит от площади торгового зала. Налоговая база для всех торговых точек разная и зависит от совокупности регулирующих коэффициентов.

Коэффициент K_1 является постоянной величиной и составляет 1,081, а коэффициент K_2 меняется в зависимости от вида деятельности, от места расположения торговой точки, от ассортимента продукции.

Как видим, предприниматель при расчете налоговой базы совсем не принимает доходы, фактически полученные им в 2008 г. тогда как они многократно превышают налоговую базу (таблица 2).

Таблица 2 – Фактически полученный доход в сравнении с налоговой базой, руб.

Показатель	2006 г.	2007 г.	2008 г.
Сумма налоговой базы по ЕНВД, в целом по отделах	802 562	947 883	1 088 193
Фактически полученный доход, в целом по торговой сети	46 976 283	59 872 421	62 437 143

*-составлено на основании отчетности индивидуального предпринимателя

Данные таблицы 2 позволяют сделать вывод, что фактический доход более, чем в 60 раз больше налоговой базы. Такой льготный режим налогообложения позволяет предпринимателю направлять средства, то есть инвестировать деятельность своих торговых точек. И это следует признать как положительное явление в политике развития малого предпринимательства России.

Однако существует и иная ситуация, которая нами была исследована. Деятельность другого индивидуального предпринимателя, который занимается ремонтом ювелирных изделий.

На предприятии трудятся три работника включая, самого предпринимателя для них НК РФ установлена базовая доходность в 7500 руб. на человека в месяц, следовательно, вмененный доход для данного предпринимателя будет рассчитан как (7500×3) и составит 22500 руб. в месяц. Когда фактический доход в месяц для данного предпринимателя никогда не превышал 30000 руб. Если учесть, что помещение для работы находится в аренде, работникам необходимо выплатить заработную плату, а также необходимо уплатить взносы, подлежащие перечислению в Пенсионный фонд и перечислить ЕНВД в бюджет, то данный вид деятельности является убыточным. Таких примеров по Забайкальскому краю можно привести и по другим видам деятельности.

Кроме того, большинство индивидуальных предпринимателей занимаются мелким и малодоходным бизнесом и не могут быть приравнены по размерам базовой доходности к юридическим лицам и предпринимателям, использующим в своей деятельности труд наемных работников.

Следовательно, методика расчета ЕНВД несовершенна и субъективна, так как в ней используется очень небольшое количество повышающих (понижающих) коэффициентов, весьма субъективны показатели базовой доходности. В то время как в зарубежных странах применяется до 1000 показателей базовой доходности в зависимости от множества критериев и примерно такое же количество повышающих (понижающих) коэффициентов.

Таким образом, исследование позволяет сделать вывод, что существующую систему малых предприятий необходимо совершенствовать. На наш взгляд можно предложить:

1 Пересмотреть значения базовой доходности по отдельным видам предпринимательской деятельности в зависимости от многих сопутствующих факторов.

2 Достичь «равенство для равных», то есть устранить единообразие в значениях величины базовой доходности и для юридических лиц и для мелких предпринимателей.

3 По итогам годовой отчетности предпринимателя, где фактический доход превышает налоговую базу более, чем в 5 раз вменить пересчет ЕНВД от фактически полученного дохода.

Предлагаемые меры, на наш взгляд будут способствовать дальнейшему становлению малого предпринимательства и развитию его в интересах экономики всей страны, а не отдельных хозяйственных групп и структур.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *роль малого бизнеса, методика расчета ЕНВД, совершенствование налогообложения малого предпринимательства*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Коренева Светлана Юрьевна, ассистент «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

К УЧЕТУ И АНАЛИЗУ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.В. Кожухарь

TAKING INTO CONSIDERATION AND TO THE ANALYSIS OF THE LOGISTIC EXPENDITURES OF ENTERPRISE
«Volga state academy of water transport»
V.V. Kozhukhar

In the article are examined questions of calculation and analysis of logistic expenditures, by the tools of the bookkeeping and administrative calculations.

Рассмотрены вопросы учета и анализа логистических затрат, инструментами бухгалтерского и управленческого учетов.

Логистические операции отражают продвижение предметов и продуктов труда от первоисточника, к потребителю. Выработка и принятие решений по этим операциям с позиции интересов логистической системы позволяет говорить о них как о логистических операциях. Использование термина «логистические операции» предполагает конечную цель логистического менеджмента – рационализацию сквозных цепей, по которым осуществляется транзит товарно-материальных ценностей.

Затраты на выполнение логистических операций получили название логистических затрат (logistical cost). Управление логистическими затратами должно обеспечить повышение их результативности за счет сокращения деятельности, не создающей добавленной ценности, и совершенствование деятельности ее создающей, то есть повышающей ценность продукта.

В цепочке проблем, связанных с эффективным управлением логистическими затратами, центральное место занимают вопросы их учета и анализа. То есть, учет и анализ логистических операций, в данном контексте служат элементами управления логистическими затратами.

Одно из правил менеджмента гласит: «нельзя управлять тем, что не измерено». Прежде чем приступить к оказанию управленческого воздействия на логистические функции, следует измерить и оценить уровень затрат до этого воздействия – «как есть», что бы получить базу для сопоставления с тем «как будет».

Бухгалтерский учет не дает требуемого уровня аналитики, которая бы позволила выделить логистические процессы и затраты генерируемые каждым из оцениваемых направлений для анализа затрат. В отличие от стандартов РСБУ специфика учета издержек в логистике заключается в группировке расходов не вокруг подразделений предприятия, а вокруг операций (процессов) поглощающих ресурсы (рисунок 1) [1].

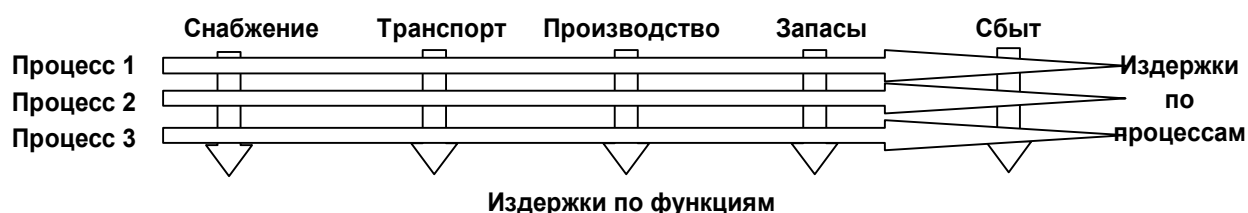


Рисунок 1 – Учета издержек в логистике

Для получения объективного результата, анализ и учет логистических затрат предприятия должен быть системным и скоординированным. Калькулирование, учет и анализ должны проводиться регулярно с целью отслеживания динамики, и поиска путей оптимизации логистических затрат. Поскольку бухгалтерский учет не дает ответов на поставленные вопросы, искать их приходится с помощью управленческого учета.

Управленческий учет (Management Accounting) – это альтернативный и параллельный бухгалтерскому учету процесс отражения фактов хозяйственной деятельности предприятия. Источники формирования для управленческого учета используются те же что и для бухгалтерского, но к ним добавляются иные аналитики и прогнозная информация, отсутствующая в

традиционном бухгалтерском учете. Кроме этого, сами факты хозяйственной деятельности могут иметь иное отражение, так как управленческая учетная политика может существенно отличаться от политик бухгалтерского и налогового учета.

Учет логистических затрат должен быть интегрирован с их нормированием, планированием и анализом в единую информационную систему, позволяющую оперативно выявлять и устранять отклонения в процессе логистической деятельности. При этом решаются вопросы о выгодности для предприятия закупки той или иной продукции, производства в том или ином месте, использования тех или иных каналов распределения.

Не смотря на то, что логистические операции могут осуществляться с различными продуктами и ценностями (материальные ценности, информация, финансы), количество самих операций является типовым и ограниченным. Выделяют затраты на сбор и хранение ценности (продукта), затраты на транспортировку и прочие. С целью учета и регулирования по функциям затраты можно объединить в следующие группы [2]:

- затраты на закупки;
- затраты на транспортировку;
- затраты на хранение;
- затраты на управление логистической системой;
- потери, возникающие в логистической цепи.

Затраты на закупки направлены на выполнение следующих функций: анализ рынка, выбор поставщика, проведение переговоров и согласование условий поставки и приемку товара или услуги. Транспортные затраты обеспечивают функцию перемещения материального потока в логистической системе. Затраты на хранение подразумевают обеспечение: размещение продукта, учет текущих запасов и сохранность количественных и качественных характеристик продукта. Затраты на управление обеспечивают построение и функционирование всей логистической системы. Поддерживают внутренние коммуникации и управленческие функции, такие как координация, контроль и мотивация. К возможным источникам потерь в логистических системах относят: коммерческие риски, потери от стихийных бедствий, хищения и кражи, технические риски, связанные с эксплуатацией технических средств логистической системы.

Возможна дальнейшая декомпозиция перечисленных статей до простейших составляющих каждой функции, но принципиальная компоновка сохранится вокруг перечисленных направлений.

Задачей учета издержек в логистике является [4]:

- разделение затрат возникающих в процессе реализации функций логистики;
- акцентирование наиболее значимых затрат;
- своевременное и правильное отражение затрат по соответствующим статьям;
- формирование информации о характере взаимодействия наиболее значимых затрат друг с другом.

Оценка логистических затрат и отнесение их к определенным процессам зависит от субъективных суждений и решений. Какие затраты включить в анализ и каким образом их распределять – вопросы не имеющие однозначных ответов. Существует одно общее правило: конкретные затраты не следует приписывать логистическим факторам не подконтрольным менеджерам организации.

С точки зрения учета и управления, затраты группируют по составу, экономическому содержанию, роли в технологическом процессе, отношению к объему производства [5]:

- по отношению к процессу производства: прямые, косвенные;
- по отношению к объему производства: постоянные, переменные;
- по степени управляемости: регулируемые, нерегулируемые.

При этом следует понимать, что деление это условно. Оно является верным с учетом двух но: при неизменности технологического процесса, и непринятии естественного влияния выражаемого малыми величинами. То есть, изменение технологического процесса, замена производственного оборудования, изменение кадрового состава и штатного расписания производственного подразделения (в качественном понимании), может привести к тому что граница между «постоянными-переменными», «прямыми-косвенными», и «регулируемыми-нерегулируемыми» затратами, будет сдвинута относительно базисного расчета. Что касается малых величин, то здесь подразумевается что например рост переменных затрат обязательно вызовет рост постоянных, но в величинах первоначально незначительных и сопоставимых с погрешностью измерения и учета. Так будет до тех пор, пока не потребуются каче-

ственное изменение рассматриваемого процесса и величина постоянных затрат будет отредактирована с учетом возросшего объема переменных затрат.

Все зависит от пропорций и объема, за эффектом масштаба могут быть спрятаны «слоны». И десятые доли процента в пересчете на годовой объем товарной продукции весьма существенны, если их соотносить с чистой прибылью предприятия по итогам года.

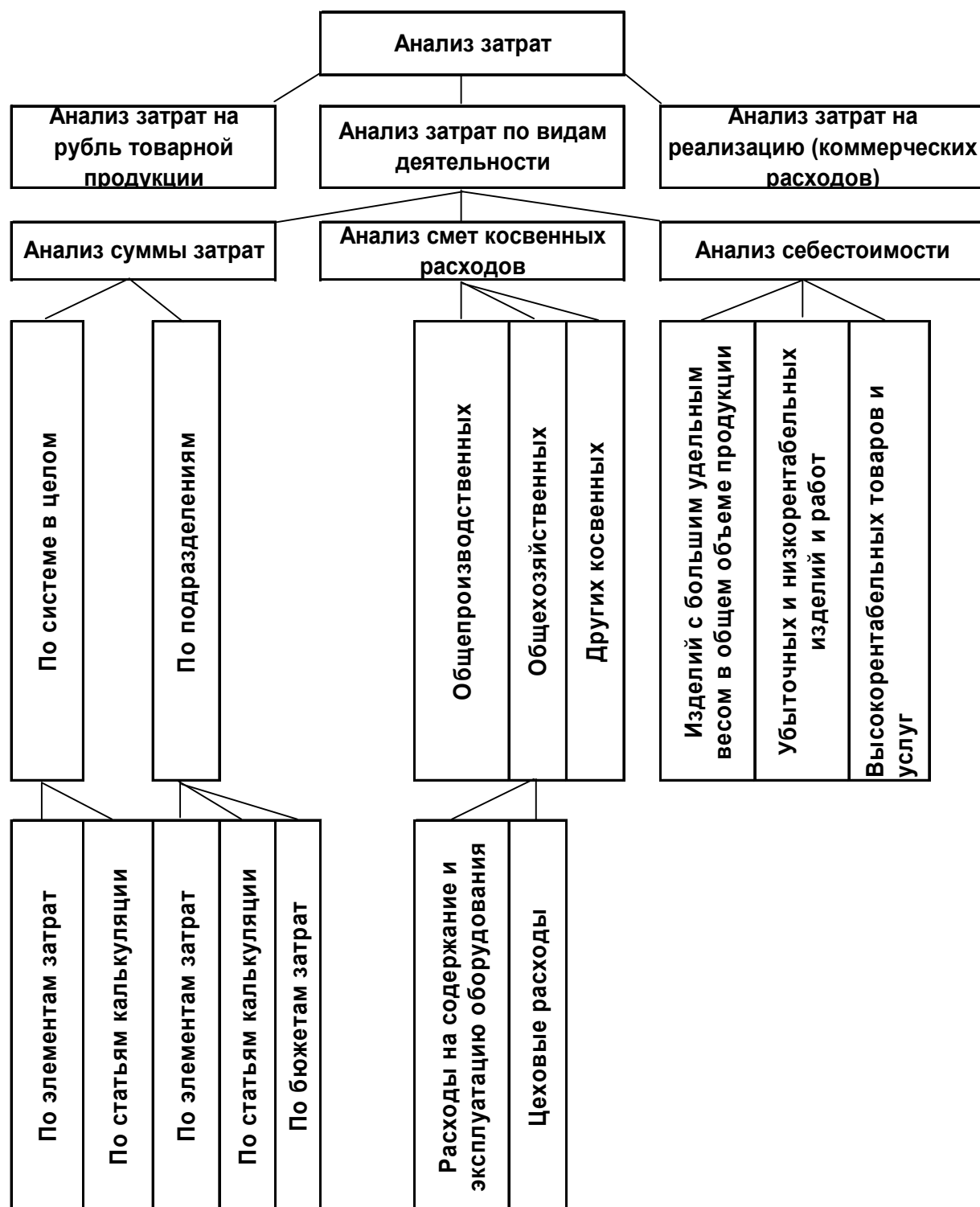


Рисунок 2 – Типовые направления анализа затрат

Анализ логистических затрат является необходимым инструментом для управления логистическими затратами. Он позволяет выявить конкретные причины изменения затрат, их связь с другими статьями себестоимости и влияние в целом на экономический результат производства товаров и услуг, и подготавливает информацию для их обоснованного планирования.

В процессе анализа рассматривается: логистическая система в целом, производственные подразделения, экономические элементы затрат, статьи калькуляции, виды деятельности, единицы работ и услуг, и другие объекты учета. На рисунке 2 приведены типовые направления анализа затрат [2].

Для анализа логистических процессов используются следующие методы:

- предварительный структурный и динамический анализ явлений;
- причинно-следственный анализ, позволяющий определить зависимость конкретных факторов на возникающие отклонения;
- построение прогнозной модели, для оценки планируемых мероприятий в сфере логистики.

При проведении анализа необходимо наличие базисного периода, относительно которого будут производиться измерения и сравнения достигнутых показателей. Выявить причины отклонений и изменения затрат по составу и структуре, установить факторы обусловившие рост или сокращение затрат, их влияние на конечный финансовый результат работы логистической системы. Анализ предполагает исследование затрат на производство и реализацию в разрезе экономических элементов, что позволяет выявить изменение материало-, фондо- и зарплатоемкости услуг. В ходе анализа выявляются конкретные причины и их влияние на экономические результаты деятельности.

Объектом анализа себестоимости по калькуляционным статьям служит, как правило, себестоимость оказанных услуг. Анализ себестоимости отдельных видов услуг дает представление о возможностях влияния на рентабельность и экономические результаты в целом. Наибольшей результативности можно добиться, проводя анализ с теми 20% (метод Парето), которые дают 80% результата. Как правило, это заказы с наибольшей и наименьшей рентабельностью.

Анализ смет расходов подразделений являющихся центрами затрат, и являющихся косвенными, накладными и условно постоянными по отношению к логистическому процессу в целом. Позволяет оценить темпы роста расходов на обслуживание производства и управление с ростом объема оказанных услуг, и установить взаимосвязь изменения этих темпов. Отклонение данных показателей от нормы, вызывают два фактора: существенное изменение объема оказания услуг, и нарушение сметы расходов. Анализ смет сводится к контролю за соблюдением установленных норм расходов отдельных статей, и качества заложенных в сметы мероприятий, выяснению причин и виновников перерасхода смет, или срыву процессов.

Анализ затрат на один рубль объема работ отражает изменения в себестоимости отдельных видов услуг, изменение стоимости ресурсов, и структурные сдвиги в общем объеме оказываемых работ, услуг.

Анализ себестоимости по статьям калькуляции, позволяет увидеть, по каким статьям существуют отклонения, и требуется дополнительное раскрытие структуры издержек. Анализ статей калькуляции позволяет выявить влияние факторов, которые вызвали эти изменения и установить причины отклонений.

Сравнение темпов роста непроизводительных затрат на обслуживание и управление по отношению к объему производства, позволит оценить динамику расходов как в целом, так и по отдельным видам затрат. Опережающий рост непроизводительных затрат относительно роста объема производства говорит о негативных тенденциях и необходимости срочного принятия решения по управленческому воздействию на статьи затрат являющиеся лидерами роста.

Важным аспектом учета и анализа логистических затрат является вопрос организации указанных процессов и операций. Перечислим кратко основные положения по организации учета и анализа логистических затрат:

- специфика учета затрат в логистике заключается в группировке расходов не вокруг подразделений предприятия, а вокруг работ и операций;
- учет издержек в логистике так же характеризует потенциальный эффект от еще не принятых решений;

– организация и специфика учета логистических операций в большей степени зависят от внутренней культуры управленческого учета организации, так как регламентирующих документов пока не существует;

– первостепенное внимание при проведении анализа логистических затрат следует уделять объектам учета имеющим наибольший вес в структуре затрат, и продуктам обладающим наибольшей и наименьшей рентабельностью.

Организация управленческого учета и анализа логистических затрат способствует построению сбалансированного варианта логистической системы, генерирующей оптимальный объем затрат на всей протяженности материального потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алесинская, Т.В. Основы логистики. Общие вопросы логистического управления: учеб. пособие / Т.В. Алесинская. -Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005.

2 Моисеева, Н.К. Экономические основы логистики: учеб. пособие / Н.К. Моисеева. -М.: ИНФРА-М, 2008.

3 Аникин, Б.А. Логистика: учеб. пособие / Б.А. Аникин; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родиной. -М.: ТК Велби: Проспект, 2008.

4 Керимов, В.Э. Учет затрат, калькулирование и бюджетирование в отдельных отраслях производственной сферы: учебник / В.Э. Керимов. -М.: Дашков и К, 2009.

5 Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности: учеб. пособие / А.И. Алексеева [и др.]. -М.: КНОРУС, 2009.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логистические затраты, учет затрат, анализ затрат

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Кожухарь Владимир Владимирович, соискатель ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603000, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.М. Иванов, В.В. Кожухарь

TO A QUESTION OF THE INTEGRATED ASSESSMENT OF THE LOGISTIC FUNCTIONS OF ENTERPRISE

«Volga state academy of water transport»

V.M. Ivanov, V.V. Kozhukhar

In the article the structure of logistic expenditures according to the functional sign is examined, is given the model of interaction of different logistic functions, and their influences on the expenditures.

Рассмотрена структура логистических затрат по функциональному признаку, приведена модель взаимодействия различных логистических функций, и их влияния на затраты.

Логистика пронизывает весь процесс конвертации капитала по цепочке «деньги-товар-деньги». Задачи, решаемые посредством приложения капитала к инструментарию логистики, различны по характеру возникновения, методам управления, методам измерения, и критериям выполнения. Традиционно при рассмотрении функций логистики принято выделять:

- информационную функцию;
- закупочную функцию;
- функцию управления запасами;
- производственную функцию;
- складскую функцию;
- сбытовую функцию;
- транспортную функцию;
- финансовую функцию.

Каждая из перечисленных функций встроена в процесс создания стоимости товара (продукта). Для лучшего понимания природы возникновения стоимости логистических функций предприятия следует рассмотреть их рыночную стоимость (таблица 1). Коммерческая ориентированность предприятий и компаний делает сегодня возможным приобрести любую из логистических функций как услугу. Вопрос покупки или самостоятельного исполнения функции относится к так называемой задаче «МОВ» («Make or Buy» сделать или купить) и

является важным стратегическим решением для каждой организации.

При оценке стоимости логистических функций имеет смысл обратиться к аутсорсингу. Для этого предварительно требуется получение ответов на следующие вопросы:

- является данная функция основной для предприятия или нет;
- достаточно у предприятия ресурсной обеспеченности и соответствующего опыта для обеспечения данной функции или нет;
- несет ли рассматриваемая функция инсайдеровскую информацию (коммерческие и технологические секреты и т.п.), не предназначенную для разглашения за пределами предприятия, или нет;
- при прочих равных условиях будет ли экономический эффект после передачи функции на аутсорсинг.

В зависимости от состава ответов может быть принято решение о передаче на аутсорсинг (покупки) каждой отдельной функции.

В зависимости от отраслевой принадлежности предприятия структура полной себестоимости продукта и соотношение логистических затрат по функциональному признаку будет различными. Автором статьи на основе принципов аутсорсинга были проанализированы фактические данные по составу логистических затрат ряда Нижегородских предприятий, позволившие установить примерное соотношение веса логистических функций в полной себестоимости готового продукта.

Таблица 1 – Стоимость оценка логистических функций

Логистическая функция	Задачи, решаемые при реализации функций	Процентный вес стоимости функции в себестоимости продукции
Информационная	Сбор, обработка, хранение и распределение информации в нужном объеме, в нужном месте, в нужное время	до 1%
Закупочная	Выбор поставщика и вида закупок	2-10%
Управления запасами	Что закупать, когда, и в каких количествах	15-20%
Производственная	Регулирование производственного процесса во времени и пространстве	30-50%
Складская	Управление материальными ресурсами на территории складского хозяйства	15-30%
Сбытовая	Передача товара от производителя к потребителю с оптимальными затратами	3-5%
Транспортная	Доставка продукта нужного качества, в нужном количестве, в установленное время и место с минимальными затратами	3-5%
Финансовая	Повышение эффективности использования финансовых ресурсов с преодолением временного разрыва между приходом и расходом денежных средств	5-15%

За границами описанных функций остается часть финансово-хозяйственной деятельности, не относящаяся непосредственно к производству продукта: юридическая работа (обеспечение правовой поддержки деятельности предприятия и защита имущественных прав), инвестиционная политика, благотворительная деятельность, расчеты по налогам и сборам, отношения с акционерами (дивидендная политика и операции с собственным капиталом и прибылью).

Каждая функция основана на использовании определенных ресурсов, состав которых влияет на постоянные и переменные составляющие затрат (таблица 2).

При рассмотрении возможностей управления каждой функцией кроме весовой составляющей в себестоимости нужно учитывать экономический рычаг, который позволяет получить каждая функция при ее эффективном использовании.

Управление в бизнесе подразумевает принятие и реализацию решений, измеримость результата которых можно оценить по их влиянию на предпринимательские издержки при сохранении качественных характеристик продукта, что и является целью управленческого воздействия на логистические затраты. Эффективное управление позволяет снижать величину затрат по управляемой функции. Но более эффективным является решение, при кото-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ром достигается эффект домино на сопряженных в цепочке бизнес-процессов других логистических функций. В этом случае конечный эффект становится синергетическим, то есть по совокупности превосходит сумму эффектов по каждой отдельно взятой функции.

Таблица 2 – Состав постоянных и переменных затрат, связанных с реализацией логистических функций

Логистическая функция	Условно постоянные затраты	Условно переменные затраты
Информационная	Амортизация информационной системы, сетевого оборудования и АРМ, оплата труда работников службы информационного обеспечения, затраты на учет и администрирование	Затраты на обучение персонала, расходные материалы (бумага, тонер), общехозяйственные расходы, премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Закупочная	Оплата труда работников службы снабжения, общехозяйственные расходы, затраты на учет и администрирование	Коммуникационные расходы (командировочные, представительские, расходы на связь), премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Управления запасами	Оплата труда работников службы снабжения, общехозяйственные расходы, затраты на учет и администрирование	Коммуникационные расходы (командировочные, представительские, расходы на связь), премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Производственная	Амортизация и ремонты оборудования, оплата труда работников основного и вспомогательного производств (рабочих, мастеров, начальников участков, цехов ПДО), общехозяйственные расходы, сертификация и получение разрешительной документации, затраты на учет и администрирование	Сдельная часть оплаты труда персонала занятого данной функцией, расходные материалы, общехозяйственные расходы, энергетика
Складская	Амортизация и ремонты оборудования, окладная часть вознаграждения складского персонала, общехозяйственные расходы, затраты на учет и администрирование	Премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Сбытовая	Постоянная часть вознаграждения отдела сбыта, затраты на учет и администрирование	Коммуникационные расходы, премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Транспортная	Амортизация и ремонты машин и механизмов, окладная часть вознаграждения складского персонала, затраты на учет и администрирование	Сдельная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией
Финансовая	Постоянная часть вознаграждения финансовой службы, общехозяйственные расходы, затраты на учет и администрирование	Премиальная часть оплаты труда персонала, занятого данной функцией

Пример взаимодействия функций. Доступным и показательным примером взаимодействия функций может служить совершенствование информационной функции логистики. Современным направлением совершенствования информационной функции является внедрение информационных технологий в рамках соответствующей автоматизированной системы. К этапам такого процесса является можно отнести: обследование предприятия и описание системы «как есть», описание «как должно быть», постановка технического задания, непосредственно создание информационной системы, написание операционных инструкций и создание рабочих мест, сдача системы в эксплуатацию и обучение персонала.

Очевидно, что по завершению проекта можно говорить о новой информационной системе. Средний результат от совершенствования информационной системы составляет экономию в 5-10% от стоимости среднемесячных запасов сырья и комплектующих на складах предприятия. Относительно того, много это или мало, зависит от конкретного предприятия. В данном случае гораздо важнее, что взаимосвязь разных функций налицо.

Несмотря на низкий собственный вес в структуре затрат, информационная функция наиболее

полно взаимодействует со всеми логистическими процессами предприятия, и развитие, совершенствование данной функции прибавляет доступности, прозрачности и управляемости каждой из других функций. Своевременность, открытость и доступность информации о движении товарно-денежных потоков позволяет минимизировать неэффективные решения, и улучшать итоговые финансовые показатели работы предприятия.

Влияние каждой функции на эффективность деятельности предприятия ограничено качественными и ценовыми показателями. Качественные критерии измеряются пределами соответствия готового продукта техническим стандартам и ожиданиям потребителя. Ценовые критерии имеют для производителя первостепенную значимость, поскольку производство и реализация продукта должны обеспечивать некоторую достаточную для него норму рентабельности. Целью управления каждой функцией, является повышение ее эффективности вследствие оптимизации условий реализации и предъявляемых требований (сокращение объема оборотного капитала, вовлеченного в исполнение функции, снижение затрат, генерируемых самой функцией).

Пример оптимизации функции [1, 2]. Рассмотрим пример оптимизации производственной функции на примере сварочно-заготовительного производства в рамках следующей технологии производства серии опор сотовой связи.

На склад завода поступает металлопрокат (уголок, швеллер, труба, лист) и проходит визуально-измерительный контроль, и сверку с сопровождающей документацией (сертификатами соответствия). Далее со склада металл поступает в цех для последующей обработки:

- уголок, швеллер, труба, для обрезки на ленточно-пильном станке;
- сверление технологических отверстий под крепежные элементы;
- подготовка кромок под сварку на фрезерном станке и ручной кромко-строгательной машине;
- установка в сварочный кондуктор («УСМ» – Универсальное Сборочное Приспособление), где проходит сварка с последующим контролем качества сварного шва.

Параллельно проходит изготовление крепежных элементов из листового проката. Аналогично до поступления в цех металл проходит документальный и измерительный контроль, после чего поступает на разметку, раскрой и сверление. Готовые детали также проходят подготовку сварного шва и сварку по месту крепления.

После завершения операций обработки узлов и прохождения сдаточного контроля, проводится агрегатированная сборка, поочередная установка и крепление всех узлов конструкции с замером геометрических размеров мерительным инструментом.

При осуществлении производственного процесса в нем участвует следующее специализированное оборудование: контрольно измерительные приборы, вилочный погрузчик, ленточно-пильный станок, фрезерный станок и кромко-строгательная машина, сварочный полуавтомат, универсальные сборочные приспособления (оснастка).

Данный производственный процесс является типовым, и завершенным по технологии без привлечения услуг сторонних компаний. Процесс сбалансирован по времени производства и сдачи продукции заказчику. Но, при замене всего двух единиц оборудования, процесс производства будет ускорен более чем в десять раз! Применение при раскрое листового проката плазмо-резательной машины и замена ленточно-пильного станка на гидро-пресс с возможностью пробивки технологических отверстий заменяет операцию сверления, повышает скорость всего производственного цикла.

Поэтому при создании технологической карты обработки продукта (изделия) следует принимать в расчет производительность каждого из звеньев, чтобы не допустить опережения по отдельным операциям и вынужденного простоя по другим.

На рынке представлено самое различное оборудование по мощности, функциональности и стоимости. Данные критерии должны быть основными при комплектовании производственного участка. Расчет указанных критериев позволят спроектировать такую производственную цепочку, которая будет максимально эффективна и в производственном и в экономическом смысле.

Подобный механизм оптимизации может быть применен и к прочим функциям логистики. Единственное о чем следует помнить: ни одна из функций не работает изолированно, начав изменения в одном процессе, нужно просчитать их влияние на остальные процессы. Иначе положительные сдвиги в одном направлении будут нивелированы торможением и отставанием во внезапно возникших «узких» местах, а потраченные ресурсы не дадут ожидаемого эффекта.

При управлении логистическими функциями необходимо учитывать все факторы влияния на регулируемый процесс. Инструментом подобной комплексной оценки служит концепция полной стоимости. Этот метод лежит в основе теории и практики логистики. Анализ полной стоимости подразумевает учет всех изменений, возникающих в логистической системе после единичного вмешательства в логистический процесс.

Первоначально анализ полной стоимости использовался на транспорте для сравнения

различных вариантов транспортировки. Впоследствии этот метод начал использоваться повсюду, где существует необходимость сделать выбор из двух и более альтернатив.

Образно идея анализа полной стоимости может быть представлена в виде айсберга, «надводная» часть которого – видимая, четко просматриваемая цена решения, а «подводная» часть это скрытые затраты, которые возникнут в процессе реализации решения [3].

Трудность применения метода полной стоимости заключается в идентификации затрат, находящихся в «подводной» части айсберга. Для проведения соответствующих расчетов требуются специальные знания в узкопрофессиональных областях и детальный учет факторов, связанных с косвенными затратами.

При проведении анализа полной стоимости применительно к конкретной логистической системе как правило имеется набор известных величин: стоимость затрат которые предполагается осуществить, стоимость собственных ресурсов, и стоимость привлеченных и заемных ресурсов. Плюс набор величин, которые предстоит определить: полную стоимость управленческого воздействия с учетом скрытых затрат и экономический эффект от произведенного вмешательства. Для проведения подобных работ чаще всего используют метод моделирования.

Как известно, модель может быть материальной (макет склада, магазина, транспортного узла) или абстрактной (символической – схемы, графики, тексты; математической – таблицы, электронные базы данных). Абстрактные модели формируют представление функционирования объекта по основным характеристикам. Для логистики абстрактное моделирование зачастую является единственным способом принятия решений.

Пример моделирования стоимостей. Рассмотрим следующий пример построения модели для определения оптимального источника привлечения финансирования с целью покрытия разрыва денежного потока.

Предприятие производит и реализует продукцию. Цикл изготовления готового изделия от 30 до 60 дней. Вследствие унификации линейки типоразмеров готовых изделий, возможно опережающее заготовительное производство корпусов, с целью сокращения производственного цикла от заказа до поставки продукции покупателю. Построение в первом чтении прогноза кэш-флоу (плана доходов и расходов денежных средств) на следующий календарный месяц показало, что в середине месяца существует кассовый разрыв, в связи с переносом на конец месяца оплаты от покупателя.

Возможные источники финансирования кассового разрыва: овердрафтное кредитование, срочный кредит, аванс от покупателя. Сравнительные характеристики для первоначальной оценки стоимости ресурсов. Процентная ставка по овердрафтному кредиту – 24% годовых, по срочному кредиту – 22% годовых, условия получения аванса от покупателя – скидка 5% на партию поставляемой продукции по договору на 4 млн. руб. Рассмотрим совокупную стоимость каждого из вариантов.

Исходя из представленного плана (таблица 3) видно, что на третьей неделе возникнет дефицит в размере трех миллионов рублей. Соответственно рассчитываем стоимость привлечения недостающих средств в размере 3,0 млн. руб. на 7 календарных дней.

$$\text{Овердрафт} = \frac{3\,000\,000 \cdot 24\%}{365 \text{ дней}} \cdot 7 \text{ дней} = 13\,808,22 \text{ руб.};$$

$$\text{Срочный кредит} = \frac{3\,000\,000 \cdot 22\%}{365 \text{ дней}} \cdot 7 \text{ дней} = 12\,657,53 \text{ руб.};$$

$$\text{Скидка покупателю по договору} = 4\,000\,000 \cdot 5\% = 200\,000 \text{ руб.}$$

Даже в первом приближении видно, что скидка покупателю продукции – наименее выгодный вариант привлечения средств, так как стоимость его обходится в 16 раз дороже (!) банковских продуктов. Только снижение скидки до 0,3-0,4 % от договора делает это предложение сопоставимым для анализа.

Срочный кредит на первый взгляд более выгоден. Однако, для того что бы провести

Таблица 3 – План моделирования стоимости по периодам, млн. руб.

Позиция	Стоимость по периодам				
	1 неделя	2 неделя	3 неделя	4 неделя	Всего за месяц
Остаток на начало:	0,5	0	0	-3	–
Доходы по основной деятельности	11,0	13,0	7,0	18	49,0
Расходы по основной деятельности	11,5	13,0	10,0	14	48,5
Остаток на конец:	0	0	-3,0	1,0	–

точную оценку его стоимости для предприятия следует уточнить размер платы за открытие и обслуживание кредита банком, и определить вероятность (точность) запланированных поступлений от покупателей, поскольку сокращение кассового разрыва в днях меняет общую стоимость операции. Срочный кредит требует согласования при досрочном погашении, и возможность досрочного погашения прописывается и согласовывается с банком в кредитном договоре; на коротких кредитах банку может быть не выгодно досрочное закрытие кредита. В случае с овердрафтом все поступившие на счет средства сразу списываются в счет погашения задолженности по договору овердрафтного кредитования, таким образом, приход аванса от покупателя на один день раньше, меняет выгодность привлечения средств в сторону овердрафта (при условии, что срочный кредит остается семидневным).

В приведенном примере использована абстрактная модель формирования представления о предмете рассмотрения, упрощенно показаны суммы позиций кэш-флоу. Однако именно такое представление материала позволяет более наглядно представить и оценить ситуацию. Очевидно, что увеличив общий объем информации (показав разделение доходов по товарным группам и центрам продаж, разделение расходов на основное и вспомогательное производства, выделение затрат прямых и накладных и т.д.), мы не увеличили бы в ней вес информативных показателей используемых для принятия решения, но усложнили восприятие общей картины.

Моделирование основывается на подобии систем, которое может быть полным или частичным. При моделировании логистических систем, абсолютное подобие (полное соответствие оригиналу, включая все детали) не представляется целесообразным. Источником специальных знаний при построении абстрактных логистических моделей, служат экспертные системы. Экспертные системы аккумулируют знания и опыт нескольких специалистов-экспертов, работающих в различных смежных областях.

Применение экспертных систем позволяет использовать в моделях решения, проверенные практическим опытом использования. Логистические процессы включают множество различных технологических операций, учесть все особенности которых невозможно, поэтому пользователь модели должен обладать «здоровым смыслом». Подкрепление модели фрагментами использованных ранее решений снижает риск расхождения результата, полученного расчетным путем, от фактического при последующей эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Логистика: учеб. пособие / под ред. Б.А. Аникина. -М.: ИНФРА-М, 1997.
- 2 Аникин, Б.А. Логистика: учеб. пособие / Б.А. Аникин; под ред. Б.А. Аникина, Т.А. Родиной. -М.: ТК Велби: Проспект, 2008.
- 3 Гаджинский, А.М. Логистика: учебник / А.М. Гаджинский. -М.: Дашков и К, 2009.
- 4 Моисеева, Н.К. Экономические основы логистики: учеб. пособие / Н.К. Моисеева. -М.: ИНФРА-М, 2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логистические затраты, логистические функции, оценка и управление функциями
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванов Валерий Михайлович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»
Кожухарь Владимир Владимирович, соискатель ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603000, г. Н. Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАНЯТОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Н.Г. Ананьева

WORKING OUT OF THE RAILWAY CROSSING OCCUPATION AUTOMATIC MONITORING SYSTEM
«Omsk state transport university»
N.G. Ananieva

The control system of occupation on a railway crossings has been offered, algorithms of each subsystem are considered.

Предложена система контроля занятости переездов, рассмотрены алгоритмы работы каждой подсистемы.

Обеспечение безопасности перевозок было и остается одной из приоритетных задач ОАО «Российские железные дороги», решение которой осуществляется в соответствии с

нормативно-правовой базой в области безопасности продукции и услуг. В рамках Стратегии развития железнодорожного транспорта Российской Федерации до 2030 года реализуется комплекс мер, направленных на обеспечение безопасности движения. Первостепенное значение как одной из главных социально-экономических задач, направленных на охрану здоровья и жизни людей, сохранность перевозимых грузов, технических средств и обеспечение экологической безопасности придается обеспечению безопасности на переездах железных дорог.

Анализ существующих средств и мероприятий, применяемых на железнодорожных переездах, показал, что наиболее перспективным направлением повышения безопасности является разработка автоматических систем основанных на передаче видеоизображений.

Основной задачей разрабатываемой системы является непрерывный контроль объектов на железнодорожном переезде, получение управляющих сигналов от детекторов движения, с целью своевременного предупреждения аварийной ситуации, фиксация и накопление полученной информации. При этом структура системы должна учитывать следующие аспекты: получение информации о наличии опасных объектов на переезде; обеспечение надежной передачи на борт локомотива принятого системой решения о действиях машиниста.

Систему контроля безопасности железнодорожного переезда (рисунок 1) можно условно разделить на несколько подсистем:

- подсистема оповещения о приближении поезда к переезду;
- подсистема видеонаблюдения;
- подсистема определения параметров объекта;
- подсистема анализа ситуации и принятия решения;
- подсистема локомотивных устройств.

Система видеонаблюдения представляет собой несколько камер, соединенных в одну сеть, благодаря которым осуществляется наблюдение за контролируемыми зонами. А одним из главных достоинств системы можно назвать ее возможность становится более совершенной и многофункциональной, в зависимости от необходимости. И сделать это можно при помощи дополнительных устройств, которые легко и просто «вживаются» в стандартную систему замкнутого телевидения. При разработке такой подсистемы особое внимание следует уделить оптимальному расположению видеокамер и выбора метода распознавания объекта находящегося в границах железнодорожного переезда. На рисунке 2 представлен алгоритм определения метода распознавания.

В результате обзора методов для реализации алгоритма распознавания был выбран шаблонный метод. Основанием для такого решения послужило:

- этот метод устойчив к искажению данных, что нередко наблюдается на номерных пластинах в виде теней и грязи;
- шаблонный метод имеет высокую скорость обработки данных;
- имеется априорная информация о единственном возможном шрифте;
- для хранения эталонов не требуется больших затрат памяти, так как алфавит состоит из 13-ти букв и 10-ти цифр невысокого разрешения.

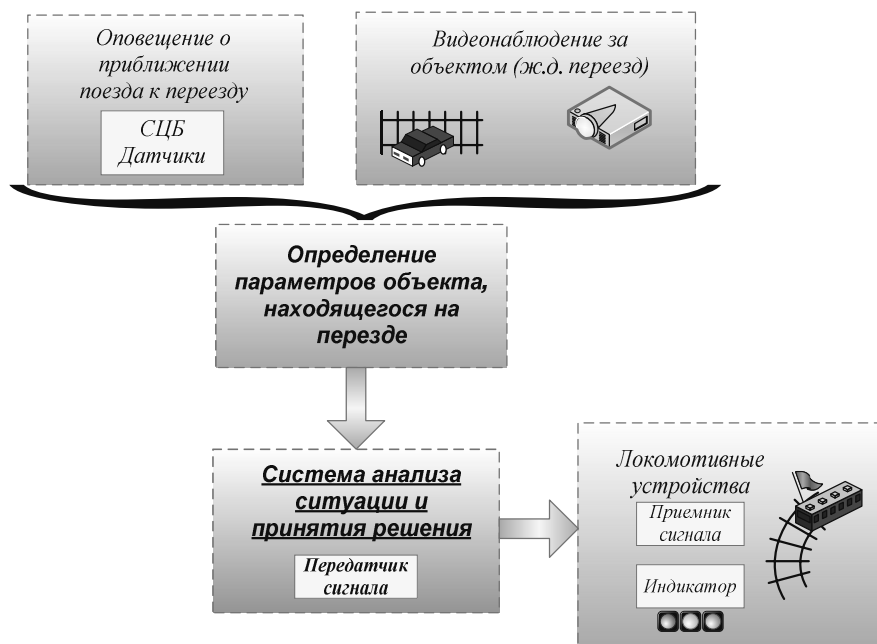


Рисунок 1 – Структурная схема автоматической системы контроля занятости железнодорожного переезда

В случае же, если у ТС по каким-то причинам нет регистрационного номерного знака, распознавание происходит по контуру объекта. Для решения такой задачи необходим более сложный и глубокий метод. В таких целях оптимально использовать нейронную сеть Хопфилда.

НС Хопфилда (НСХ) является однослойной и полносвязной (связи нейронов на самих себя отсутствуют), ее выходы связаны со входами. Так же является релаксационной – то есть будучи

установленной, в начальное состояние, функционирует до тех пор, пока не достигнет стабильного состояния, которое и будет являться ее выходным значением.

Применение НСХ позволяет точно восстанавливать образы, которым сеть обучена, при подаче на вход искаженного образа. При этом сеть «вспомнит» наиболее близкий образ, и таким образом распознает его.



Рисунок 2 – Алгоритм определения метода распознавания

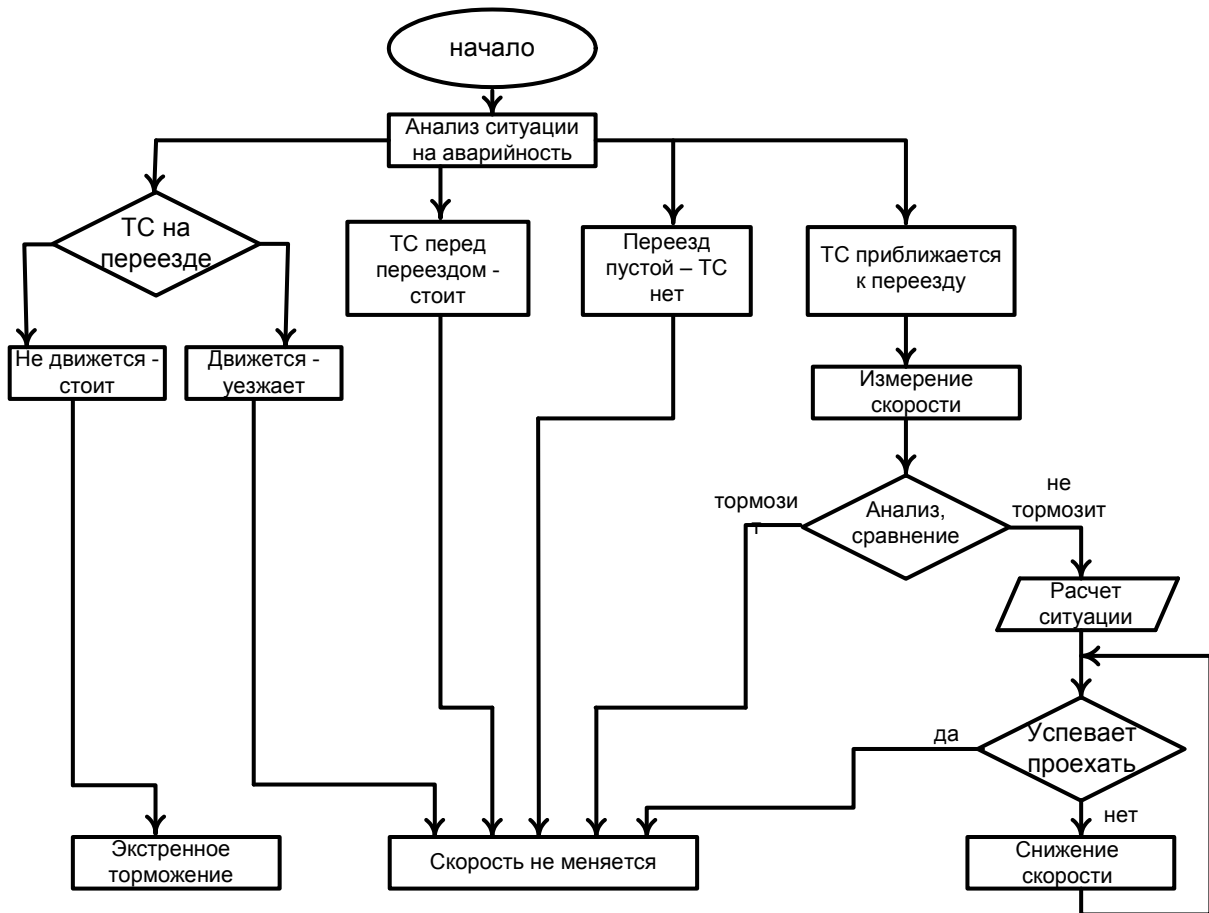


Рисунок 3 – Алгоритм подсистема анализа ситуации и принятия решения

Центром всей системы является подсистема анализа ситуации и принятия решения. Она представляет собой запрограммированный микроконтроллер, который, имея опреде-

ленные входные данные, обрабатывает их и выдает результат решения. Входными параметрами системы является информация об объекте (транспортном средстве), его скорость и направление движения. На рисунке 3 представлен алгоритм анализа ситуации и выработка управляющего воздействия на действия машиниста.

Подсистема оповещения о приближении поезда к железнодорожному переезду может быть представлена оборудованием СЦБ или датчиками приближения. На малоделятельных неохраняемых переездах, где нет светофоров, возникает необходимость в установке датчиков приближения поезда к переезду. Если же светофор на переезде присутствует, то подсистема оповещения использует устройства СЦБ. Наиболее оптимальным решением является установка индуктивно-проводного датчика (ИПД) основанного на изменение индуктивности петли при нахождении над ней металлического предмета.

Функцией подсистемы определения параметров объекта является определение скорости и времени прохождения ТС через переезд. Осуществляется это с помощью программного комплекса. Данный комплекс, получая кадры от подсистемы видеонаблюдения, обрабатывает их (определяет следующие параметры объекта: скорость, координаты в пространстве, время) для системы анализа ситуаций и принятия решения.

Подсистема локомотивных устройств состоит из приемника сигнала и индикатора, который наглядно предписывает машинисту его дальнейшие действия. Индикатор исполнен в виде трехцветного светофора или звукового сигнализатора, это зависит от разработчика. Система предполагает три команды, а именно – «экстренное торможение», «снижение скорости» и «скорость не меняем». Система начинает определять занятость переезда с момента срабатывания одного из датчиков приближения поезда или устройств СЦБ, расположенных за 2 км до переезда.

После активации системы происходит поочередное сканирование кадров с видеокамер, определяются параметры объекта. Вся информация поступает на микроконтроллер и обрабатывается. После анализа ситуации на аварийность принимается решение о дальнейших действиях машиниста поезда. Результирующий сигнал передается по рельсовым цепям или через радиоканал в кабину локомотива на индикатор.

Таким образом, рассмотренная система представляет собой автоматический комплекс, в основу которого заложен принцип видеонаблюдения исследуемого участка. Предлагаемое техническое решение является весьма актуальным при решении задач повышения безопасности движения в границах малоделятельных железнодорожных переездов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система контроля, система видеонаблюдения, анализ ситуации
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ананьева Надежда Геннадьевна, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНССИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ)

«Забайкальский институт железнодорожного транспорта», филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Н.Н. Красильникова

MODERN TRANSCONTINENTAL TRANSPORT POLICY'S MAIN TRENDS ON THE BASIS OF THE TRAN SIBERIAN MAINLINE «Zabaikal railway transport institute», branch to «Irkutsk state transport university»
N.N. Krasilnikova

Modern transcontinental transport policy's main trends based on the analysis of the Tran Siberian mainline competing advantages and the reasons caused the decrease of Tran Siberian mainline competition are revealed here.

Рассмотрены основные направления современной трансконтинентальной транспортной политики на основе анализа конкурентных преимуществ Транссибирской магистрали. Выявлены причины, повлиявшие на снижение конкурентоспособности Транссиба.

Транссибирская магистраль имеет большое экономическое значение для России, соединяя своими грузопотоками и пассажиропотоками различные ее регионы в единое национальное экономическое пространство. Сухопутная транспортная политика России в историческом аспекте всегда корректировалась исходя из тенденций развития морского транспорта – главного конкурента сухопутного трансконтинентального коридора «Западная Европа-Юго-восточная Азия».

Цель данной статьи обоснование основных направлений современной трансконтинентальной транспортной политики на основе анализа конкурентных преимуществ Транссибирской магистрали по сравнению с морским транспортом.

В 80-х годах двадцатого века Транссиб активно использовался для перевозки транзитных грузов из стран Европы в страны Азиатско-Тихоокеанского региона. Директивы на выполнение перевозочного процесса давало государство. Централизованный контроль позволял гарантировать стабильные и конкурентоспособные тарифы, обеспечивать конкретные сроки доставки и сохранность перевозимых грузов.

Привлечению дополнительных грузопотоков на Транссибирскую магистраль способствовала неразвитость морских маршрутов и высокие фрахтовые ставки. Кроме того, арабо – израильские конфликты 1967 г. и 1973 г. повлияли на то, что грузоотправители предпочитали железнодорожную перевозку морской. В результате этих событий Суэцкий канал был закрыт на 8 лет (с 1967 по 1975 гг.) [2].

В конце 80-х начале 90-х годов прошлого столетия политические и экономические изменения в СССР оказали огромное влияние на транспортную систему, как страны, так и регионов. Государство перестало выполнять функции четкого координатора перевозочного процесса, что привело к потере всех конкурентоспособных свойств маршрутов международной перевозки транзитных грузов по Транссибирской магистрали.

После распада СССР в 1991 году и перехода к рыночным отношениям ослабли хозяйственные связи между бывшими республиками СССР, регионами страны и отдельными предприятиями. Все это повлекло сокращение объемов перевозок и доходов на сети железных дорог страны. Так, если объем перевезенных грузов на железнодорожном транспорте в 1990 г. составлял 2,1 млрд. т, то в 1997 году всего 0,88 млрд. т.

Стоимость перевозок по Транссибу в 90-е годы XX века увеличивалась от года к году, вследствие различных дополнительных сборов (таможенное оформление, хранение грузов на таможенном складе и т.д.) Кроме того, с 1992 г. была введена предоплата за перевозки транзитных грузов по Транссибирской магистрали [2].

Конкурентоспособность же морских маршрутов наоборот возростала, так как были снижены фрахтовые ставки на всех направлениях. Грузоотправители стали выбирать именно морской маршрут, хотя расстояние перевозки морем из Европы в страны АТР в два раза больше сухопутной транспортировки грузов. Трансокеанские маршруты были и есть менее удобные относительно сроков доставки груза, но более выгодный в ценовом отношении.

С другой стороны, иностранных грузовладельцев не удовлетворяет качество транспортного сервиса на наших магистралях. Длительное время из-за отсутствия современных информационных технологий не обеспечивались требования грузовладельцев по предоставлению информации о дислокации вагонов с грузом. Имели место хищения и несвоевременная доставка грузов. Все это привело к перераспределению объемов перевозок транзитных грузов с Транссибирского на Трансокеанский маршрут.

Большая часть грузов сконцентрированных на направлении Запад-Восток контейнеро-пригодные товары. Поэтому внедрение логистических принципов управления этим грузопотоком очевидно.

В последние годы компанией ОАО «РЖД» предпринят ряд эффективных мер, для привлечения дополнительных объемов контейнерных транзитных перевозок:

- сотрудничество ОАО «РЖД» с Германией и Китаем по развитию трансконтинентального маршрута перевозок грузов на направлении Китай-Россия-Германия. Между главами железных дорог этих стран достигнута договоренность о совместном развитии контейнерных перевозок по Транссибирскому маршруту и создания логистической компании;

- в 2007 году был установлен ряд понижающих коэффициентов и спецставок на транзитные перевозки по инфраструктуре ОАО «РЖД» в сообщении с Китаем, в том числе на транспортировку грузов и контейнеров по всем направлениям транзита;

- реализованы комплексные программы по повышению пропускной способности железнодорожных станций и линий на стратегически важных направлениях;

- разработана «Программа действий по развитию железнодорожных контейнерных перевозок с использованием Транссибирской магистрали на период до 2015 года» [1].

Но, тем не менее, транзитный потенциал Транссибирской магистрали в настоящее время практически не используется. Транзитные перевозки крупнотоннажных контейнеров по Транссибу составляют лишь 18,6% от всех транзитных перевозок крупнотоннажных контейнеров с тенденцией к дальнейшему сокращению (преимущественно связи Республики Корея

с Узбекистаном и Казахстаном) [3].

В первой половине 2009 года сквозная ставка за перевозку грузов в 40-футовом контейнере из Кореи в Европу через Дальневосточные порты России с участием Транссибирской магистрали составляла 5112 долларов США (рисунок 1).

При этом стоимость альтернативной перевозки по океанскому маршруту Пусан-Гамбург (с учетом морского фрахта с надбавками и расходами на обработку в портах) составляла 3798 долларов США. Наибольшую долю в структуре сквозной ставки занимает фрахт из южнокорейского порта Пусан в порт Восточный. Эффективность снижения ставки может быть обеспечена только на основе системного логистического подхода к данной проблеме.

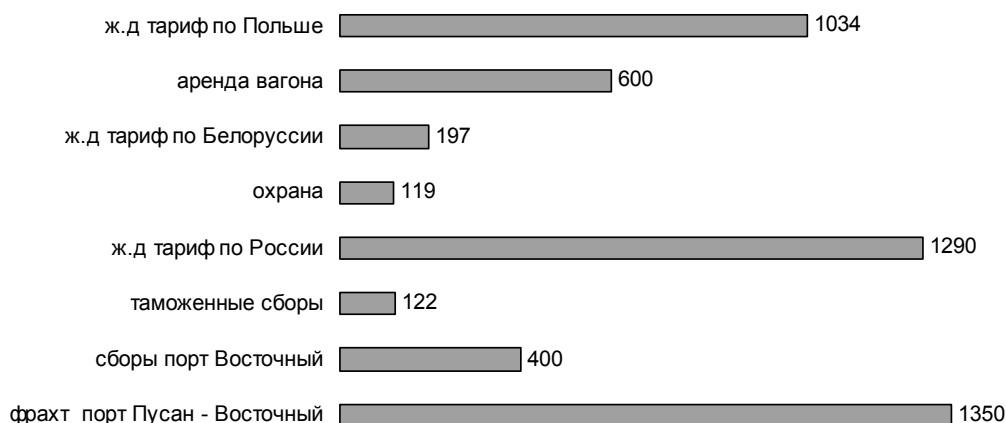


Рисунок 1 – Структура ставки за перевозку 40-футового контейнера в 2009 г., долларов США

Таким образом, основными причинами, сдерживающими дальнейшее увеличение перевозок грузов по Транссибу, являются:

1) отсутствие сквозной тарифной ставки на перевозку контейнеров от пункта отправления до пункта назначения, работающей на единый результат.

2) Необоснованно высоки ставки терминальной обработки в порту Владивосток и Восточный, более чем в 3 раза превышающих аналогичные ставки в портах Пусан, Стокгольм, Хьюстон и Калининград (рисунок 2).

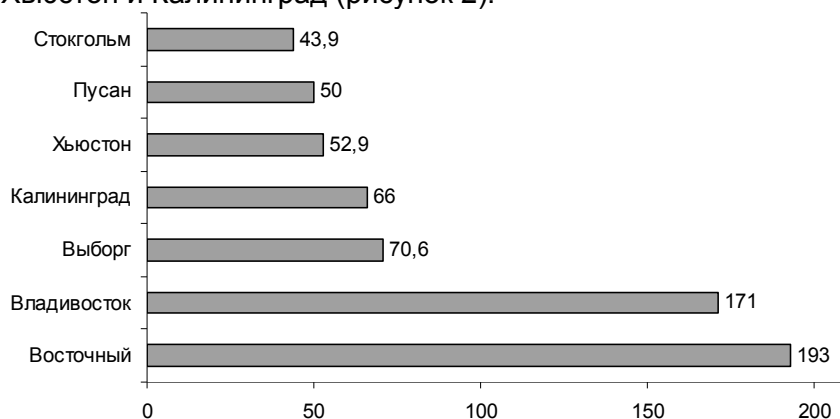


Рисунок 2 – Стоимость погрузочно-разгрузочных работ в портах для грузеных контейнеров ДФЭ в 2009 г., долларов США

3) Высокий уровень фрахта на морском «плече» Транссиба. Удельная стоимость одного контейнерокилометра при перевозке морем от портов Японии и Кореи до порта Восточный в 7,7 раза выше, чем по железной дороге от станции Находка-Восточная до Бреста и в 5 раз выше, чем на Трансокеанском маршруте.

4) Высокие тарифные ставки на перевозки контейнеров по железным дорогам Польши и Германии, которые в 11 раз выше, чем по российским железным дорогам.

В целом, на Транссиб приходится не более 25% сквозной тарифной ставки от всего маршрута перевозки между Европой и Азией.

5) Ограниченная возможность влияния со стороны российского оператора на сквозную тарифную ставку, поскольку около 60% этой ставки формируется за пределами России.

6) Высокая доля в суммарной тарифной ставке затрат на аренду контейнеров. Это связано с дисбалансом транзитных грузопотоков в западном и восточном направлениях.

Решить вышепоставленную проблему возможно путем создания Транскорейской магистрали, так как при этом морской фрахт (от порта Пусан до порта Восточный) будет исключен из этой цепочки, и тогда стоимость перевозки можно будет понизить. Только для создания Транскорейской магистрали нужно состыковать железные дороги Северной и Южной

Корей между собой и соединить их с Транссибом.

При этом взаимодействие всех участников перевозочного процесса должно основываться на логистических принципах, что является залогом успеха развития международного транспортного коридора Запад-Восток и возрождения Транссибирской магистрали. Внедрение новой инновационной программы «Транссиб за 7 суток» должно этому способствовать. Плюс использование японских технологий для создания логистических центров для повышения конкурентоспособных свойств интермодальных контейнерных перевозок.

При создании Транскорейской магистрали и полной реализации программы «Транссиб за 7 суток» будет достигнут наибольший синергетический эффект.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лapidус, Б.М. Инновационный продукт «Транссиб за 7 суток» – прорывное решение реализации транзитного потенциала России / Б.М. Лapidус // Ж.-д. трансп. -2009. -№6. -С. 20-26.

2 Леонтьев, Р.Г. Снижение конкурентоспособности Транссибирского маршрута: взгляд из Японии / Р.Г. Леонтьев, В.А. Хмель // Трансп.: наука, техника, упр. / ВИНТИ. -2005. -№6. -С. 10-15.

3 Пехтерев, Ф.С. О прогнозируемых объемах контейнерных перевозок по Транссибирской магистрали и задачах по развитию железнодорожной инфраструктуры для их обеспечения до 2015 г. / Ф.С. Пехтерев // Ж.-д. трансп. -2009. -№6. -С. 32-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *транссибирская магистраль, транспортная политика, морской транспорт, транзит, грузопотоки*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Красильникова Наталья Николаевна, аспирант «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *672040, г. Чита, ул. Магистральная, 11, «Забайкальский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ БИЗНЕСА, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И МОТИВАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОГО МЕНЕДЖМЕНТА В СФЕРЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ, ФИНАНСОВЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

«Якутский институт водного транспорта», филиал ФГОУ ВПО

«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Г. Панова, Е.С. Иваницкая

THE INTERNATIONALIZATION OF BUSINESS, ECONOMIC FEASIBILITY OF DEVELOPMENT AND MOTIVATION OF INTERNATIONAL MANAGEMENT FROM THE FIELD OF MATERIAL, FINANCIAL AND INFORMATIONAL FLOWS
«Novosibirsk state academy of water transport»
«Yakut institute of water transport», branch «Novosibirsk state academy of water transport»

A.G. Panova, C.S. Ivanitskaya

In this article we consider issues of internationalization of business, taking into account of the world economic situation. Increasing the role of management in the sphere of material, financial and informational flows. The introduction of innovative methods of markets development, the transition to a more qualitative level of business internationalization.

Рассмотрены вопросы интернационализации бизнеса с учетом мировой экономической ситуации. Увеличение роли менеджмента в сфере материальных, финансовых и информационных потоков. Внедрение инновационных методов развития рынков, переход на более качественный уровень интернационализации бизнеса.

В последнее 10-летие российские компании столкнулись со многими новыми для себя проблемами, связанными с существенными сдвигами в политической и экономической ситуации в стране, возникновением сильнейшей конкуренции во многих отраслях в первую очередь со стороны иностранных компаний, изменением поведения потребителей и т.п.

Если в начале российской «эры перемен» большинство отечественных фирм предпринимало шаги защитного характера, позволяющие им выжить, то в последние годы приоритеты стали другими, на первый план выдвинулись цели роста компании, в том числе выхода на международные рынки.

В этой связи особую актуальность приобретают вопросы интернационализации бизнеса.

Географическое положение компании, маркетинговое значение которого определяется экономико-географическими и климатическими характеристиками той страны, чьим резидентом является фокальная компания, часто порождает начальные и долговременно сохраняющиеся «толчки» к возникновению тех или иных экспортных/импортных потоков. XX век придал особое значение человеческим ресурсам, которым так же свойственно географическая концентрация и детерминированность. Такие зоны высоких технологий, порождающих «инновационные волны» в США, как Силиконовая долина (Palo Alto, California) и Силиконовый холм (Austin, Texas), во многом обязаны своим появлением существованию соответствующих университетских городков, заполненных талантливыми преподавателями и аспирантами. Возник знаменитый Бангалор (Индия) – центр рождения многих компьютерных программ. В СССР аналогичными, питавшими страну своими научно-техническими разработками, были, например, академгородки (Новосибирск, Томск). Часто толчок интернационализации даёт национальное технологическое лидерство. Так, в начале XXI века, возможно, следует ожидать резкого роста интернационализации многих компаний из Германии. Причина тому – глобализации экономических проблем. В начале второй половины прошлого века немецкие компании в силу катастрофического загрязнения Рейна фосфорсодержащими соединениями, вызывавшего резкое изменение национальной экологической политики, были поставлены правительством в очень жесткие условия по экологическим стандартам. Сегодня эти компании превратились в лидеров и владельцев экологически безопасных технологий производителей «зеленых» товаров. Именно на такие товары и технологии прогнозируется сейчас повышенный спрос на мировых рынках.

Классическая причина, связанная с известными еще по Марксу национальными различиями стоимости товара «рабочая сила», существует и в настоящее время, но постепенно теряет свое значение. По этой причине множество потребительских товаров, часто разрабатываемых в Европе или Японии, производится в странах Юго-Восточной Азии. Именно там делают закупки международные компании, занятые розничной торговлей. В список этих закупок традиционно попадают, одежда, товары домашнего обихода, посуда, игрушки и подарки. Интернационализация касается сначала компаний-производителей, а затем – торговых компаний, поскольку массовое производство требует освоения многих рынков. Другой географически аспект издержек производства, заключающийся в близости к источникам сырья, по мере развития и совершенствования глобальных транспортных сетей потерял свое когда-то критическое значение. Транспортная составляющая в цене конечной продукции относительно высока.

Условием интернационализации бизнеса можно считать соответствие между эндогенными и экзогенными факторами, то есть способность компании производить и продавать на выбранном рынке именно то, что нужно покупателям, образующим этот целевой рынок. Определению и уточнению этого достаточного условия должна послужить выработка нормативного перечня объективных причин.

Классификационный перечень таких причин, рассматриваемых для данной задачи: рынки; технологии, особенно запатентованные; производственные ресурсы; конкуренция; фактор времени: скорость реагирования; покупатели; правительства.

Рынки могут пониматься как национальные, так и отраслевые. Последние в настоящее время потеряли географическую привязку, а их характеристики в основном определяются глобальной конкуренцией. Глобализация рынков привела к тому, что географически локальные фрагменты мирового отраслевого, равно как и потребительского рынка, рассматриваются международными компаниями, способными играть роль глобальных игроков, как единый рынок.

Таким образом, ведущие рынки, лидерство которых во многом определено географической неравномерностью технологического развития, предстают в виде витрины новых технологий, к которым стремятся все развивающиеся компании. В современных экономических системах именно технологии играют решающую роль в цепочке роста ценности (value-added chain), превратившись сегодня в наиболее критический ресурс производства, став важнее сырья, рабочей силы и даже энергетических ресурсов. Своевременный международный трансферт технологий превратился в действие, в котором заинтересованы как разработчики, так и покупатели. Интернационализация бизнеса предоставляет фокальной компании большие возможности комбинировать различные сочетания источников производственных ресурсов, что в конечном итоге обеспечивает ее глобальное конкурентное преимущество и позволяет заметно повысить конкурентоспособность ее товарных рядов. Причем в

настоящее время эта задача решается не методом проб и ошибок при селекции отдельных источников этих ресурсов, а путем комплексной оптимизации географического размещения стратегических бизнес-единиц и определения источников ресурсов на глобальном базисе. Этот процесс отражает роль и возможности международной компании как глобального конкурента, способного как к обороне, так и к наступлению. Обеспечение защищенной конкурентной позиции является результатом планомерной интернационализации бизнеса (таблица), в ходе которой отделы стратегического планирования применяют достижения теории игр.

Таблица – Сравнение основных характеристик, определяющих международный бизнес при разных подходах к его организации: экспортных продаж и международного маркетинга

Характеристики бизнеса	Подход экспортных продаж	Подход международного маркетинга
Временные горизонты	Краткосрочные	Долгосрочные (например, от 3 до 5 лет)
Целевые рынки	Систематический отбор отсутствует	Отбор, основанный на анализе потенциала рынка
Доминирующая задача	Незамедлительные продажи	Построение долговременной рыночной позиции
Подключение ресурсов	В количестве, достаточном для обеспечения незамедлительных продаж	Столько, сколько необходимо для получения долговременной рыночной позиции
Способ вхождения	Систематический выбор отсутствует	Систематический выбор наиболее подходящего способа
Разработка новых товаров	Исключительно под потребности отечественного рынка	Как для отечественного, так и для зарубежного рынков
Адаптация товара	Только в случае вынужденной адаптации отечественного рынка (вызываемые правовыми/техническими потребностями)	Адаптация отечественных товаров в предпочтении, доходам и условиям пользования зарубежных покупателей
Каналы дистрибуции	Действия по обеспечению, как правило, не предпринимаются	Действия по обеспечению контроля, определяемые поддержкой достижения рыночных целей и выполнения задач
Цена	Определяется полными издержками производства отечественного товара плюс некоторые случайные поправки на конкретные ситуации организации продаж	Определяется состоянием спроса, конкуренции и условиями выполнения рыночных задач и реализации выбранной маркетинговой политики с учетом лежащей в основании цены заводской себестоимости товара
Продвижение	Преимущественно основано на персональных продажах или передано торговым посредникам	Микс рекламы, продвижение продаж и персональных продаж, соответствующий достижению рыночных целей/задач

Изучение поведения своих основных конкурентов, включающее в себя анализ их основных взаимозависимостей, рыночной стратегии и тактики, позволяет географически определить те рынки, на которые возможна и желательна дальнейшая внешнеэкономическая экспансия фокальной компании. Одним из условий успеха в конкурентной борьбе является правильный выбор начала интернационализации и быстрый вывод инновационного товара на рынок, а также своевременная реакция на действия конкурентов. Глобальная конкуренция предполагает существование такого явления, как глобальный покупатель (global customer), за средства которого, собственно, и разворачивается конкурентная борьба с применением всех технологий глобального маркетинга. Покупатель важная цель любой маркетинговой деятельности. Продавец либо подстраивается под покупателя, либо изменяет его поведение, либо делает и то, и другое. Однако наименее затратным и наиболее гарантированным выступает поиск фокальной компанией «своего» покупателя, что служит причиной интернационализации.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интернационализация, бизнес, мотивация, методы, менеджмент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Панова Айталина Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГавт»

Иваницкая Екатерина Святославовна, начальник учебной части «Якутский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГавт»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

677000, г. Якутск, ул. Водников, 1, «Якутский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГавт»

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.Ю. Квинт

THE ASSESSMENT OF ECONOMICAL RELIABILITY OF ENGINEERING WORK ON RAILWAY TRANSPORT
«Siberian state transport university»
M.Yu Kvint

Given a suggestion for the assessment of economical reliability of engineering work on railway transport, which makes it possible to take into account dependence between workmanship quality and the wages.

Предложен подход к оценке организационно-экономической надежности путевых работ на железнодорожном транспорте, позволяющий учитывать зависимость их качества от заработной платы путевых рабочих.

Надежное функционирование системы железнодорожного транспорта должно базироваться на анализе процессов, происходящих на протяжении значимого временного промежутка. Для анализа целесообразно выбрать интегральные показатели, обобщенно характеризующие производственные, организационно-технологические и экономические факторы, определяющие поведение системы в целом.

Путевое хозяйство железных дорог призвано обеспечить нормативный уровень безопасности движения. Качественное состояние пути зависит от своевременного ремонта и его содержания, оцениваемых на основе экспертных балльных оценок (чем выше баллы, тем ниже качество). Одним из значимо влияющих показателей на качество путевых работ является заработная плата. Нашими исследованиями установлены следующие корреляционно-регрессионные зависимости между заработной платой по четырем отделениям филиала ОАО «РЖД» «Западно-Сибирская железная дорога» Y и балльными оценками x (R^2 - показатель тесноты между фактическими данными и уравнением регрессии, K - корреляционное отношение).

$$Y_1 = 135934x_1^{-0,7836}; R^2 = 0,9113; K = -0,84791;$$

$$Y_2 = 194122x_2^{-0,8917}; R^2 = 0,8718; K = -0,80649;$$

$$Y_3 = 385739x_3^{-0,9126}; R^2 = 0,9037; K = -0,84791;$$

$$Y_4 = 85326x_4^{-0,3935}; R^2 = 0,9646; K = -0,86998.$$

Для НОД1 зависимость зарплаты от балльной оценки приведена на рисунке 1. Из рисунка видно, что высокая балльность обусловлена низким уровнем заработной платы. С другой стороны, рост заработной платы практически не определяет качество путевых работ в интервале 10-20 баллов.

В качестве интегрального показателя эффективности затрат на выполнение путевых работ предлагается ввести новую категорию: организационно-экономическую надежность (ОЭН). Под ОЭН будем понимать способность организационно-экономической системы быть устойчивой против внешних воздействий и, в случае изменения своих свойств, не выходить из зоны организационно-экономической безопасности, характеризуемой уровнем выполнения путевых работ, обеспечивающих безопасное движение поездов.

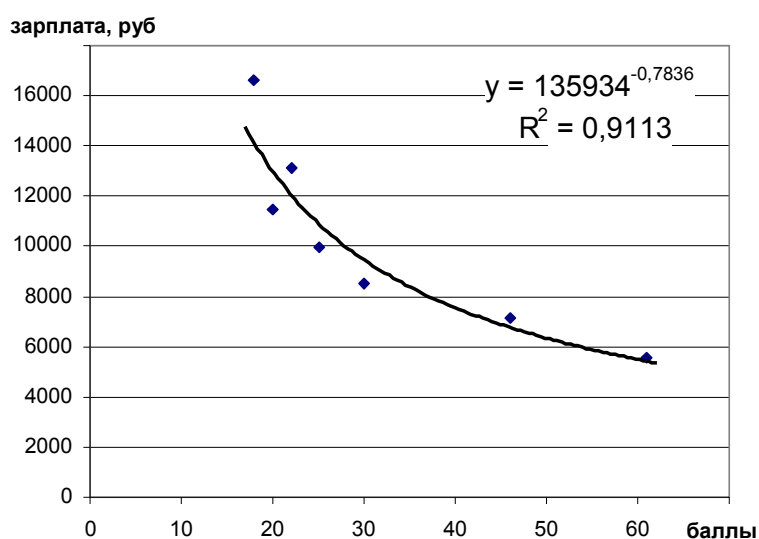


Рисунок 1 – Зависимость заработной платы от балльной оценки по НОД

В анализ организационно-экономической надежности (ОЭН) может быть включен m статей затрат: заработная плата путевых рабочих, стоимость материалов, затраты на эксплуатацию машин и механизмов, накладные расходы и пр. Для каждой статьи затрат известны ретроспективные данные за n -лет по плановым и фактическим объемам выполненных работ. Обозначим через:

g_{ij} – объем плановых расходов по i -й статье затрат в j -м году
 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n;$

f_{ij} – объем фактических расходов по i -й статье затрат j -м году
 $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n.$

Для исследования ОЭН организации производства путевых работ возможны несколько подходов, оценивающих взаимосвязь составляющих компонентов. Использование того или иного подхода определяется в зависимости от репрезентативности исходных данных, характеризующих динамику развития хозяйства дороги и сети в целом.

Наиболее простой подход может базироваться на детерминированном сопоставлении плановых и фактических показателей по годам [1].

ОЭН можно охарактеризовать мерой отклонения фактических данных от плановых, например:

$$\omega_{ij} = 1 - \frac{|f_{ij} - g_{ij}|}{f_{ij}}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, n}. \quad (1)$$

Приемлемый интервал изменения m параметра отклонения по статьям затрат

$$\omega_i \in (\omega_{\min i}; \omega_{\max i}), \quad (2)$$

где $\omega_{\min i}$ – минимальное значение ОЭН по i -й статье

$$\omega_{\min i} = \min \omega_{ij}; \quad \omega_{\max i} = \max \omega_{ij}. \quad (3)$$

В целом по расходам путевого хозяйства ОЭН можно пронормировать.

При этом

$$\omega \in (\omega_{\min i}; \omega_{\max i}); \quad (4)$$

$$\omega_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_{\min i} \cdot \sum_{j=1}^n f_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}}; \quad (5)$$

$$\omega_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_{\max i} \cdot \sum_{j=1}^n f_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}}. \quad (6)$$

Средняя точечная оценка ОЭН i -й статьи затрат

$$\omega_i = \frac{\omega_{\min i} + \omega_{\max i}}{2}. \quad (7)$$

По всем статьям и годам

$$\omega_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^m \omega_i \cdot \sum_{j=1}^n f_{ij}}{\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n f_{ij}}. \quad (8)$$

ОЭН как отдельной статьи затрат, так и их совокупности теснота взаимосвязи между ними может быть оценена коэффициентом корреляции.

В таблице 1 приведены исходные данные и результаты оценки ОЭН планирования и фактического выполнения капитального ремонта пути с 2002 по 2008 годы. Нижняя граница ОЭН недопустимо мала при удовлетворительном ее среднем значении. Это свидетельствует о краткосрочных, но существенных нарушениях плановой дисциплины.

В таблице 2 приведены исходные данные и результаты оценки ОЭН по заработной плате путевого хозяйства. Нами выполнены расчеты ОЭН при изменении заработной платы от плановой в интервале (-25%; +25%). График зависимости ОЭН от процента изменения заработной платы приведен на рисунке 2.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 1 – Исходные данные и результаты оценки ОЭН
капитального ремонта за 2002-2008 гг.

		2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	Сумма
		<i>i = 1</i>	<i>i = 2</i>	<i>i = 3</i>	<i>i = 4</i>	<i>i = 5</i>	<i>i = 6</i>	<i>i = 7</i>	
План	<i>j = 1</i>	231,70	196,20	218,90	234,40	238,80	220,00	158,10	
	<i>j = 2</i>	88,60	183,50	152,90	147,30	94,70	188,40	186,60	
	<i>j = 3</i>	219,90	101,80	119,90	139,20	157,00	159,30	165,30	
	<i>j = 4</i>	144,30	116,60	108,80	101,00	124,60	52,30	176,40	
Факт	<i>j = 1</i>	239,04	102,05	284,99	160,29	346,65	136,80	86,52	1356,33
	<i>j = 2</i>	123,33	129,79	88,06	138,13	114,97	189,19	216,98	1000,45
	<i>j = 3</i>	316,92	83,42	133,86	169,17	93,41	157,54	168,90	1123,22
	<i>j = 4</i>	192,97	171,91	145,28	87,62	78,83	33,03	195,84	905,49
Сумма		872,27	487,16	652,18	555,20	633,87	516,56	668,24	
ω'		1,031	0,077	1,232	0,538	1,311	0,392	0,173	
		1,282	0,586	0,264	0,934	1,176	1,004	1,140	
		1,306	0,780	1,104	1,177	0,319	0,989	1,021	
		1,252	1,322	1,251	0,847	0,419	0,417	1,099	
		$\omega'_{\max j} \sum i_{\text{факт}}$				$\omega'_{\min j} \sum i_{\text{факт}}$			
<i>j = 1</i>		1778,303				104,8929			
<i>j = 2</i>		1282,166				263,7042			
<i>j = 3</i>		1467,093				358,593			
<i>j = 4</i>		1196,832				377,3937			
Сумма		5724,395				1104,584			
ω'_{\max}		1,305305							
ω'_{\min}						0,251873			
Средние ω'		0,778589							

Таблица 2 – Исходные данные и результаты оценки ОЭН
заработной платы за 2002-2008 гг.

		2008	2007	2006	2005	2004	2003	2002	Сумма
		<i>i = 1</i>	<i>i = 2</i>	<i>i = 3</i>	<i>i = 4</i>	<i>i = 5</i>	<i>i = 6</i>	<i>i = 7</i>	
План	<i>j = 1</i>	15505	12069	10755	9634	8050	6837	5223	
	<i>j = 2</i>	17886	14431	12276	10648	9145	7650	5831	
	<i>j = 3</i>	18985	15492	13851	12196	10218	8387	6123	
	<i>j = 4</i>	14407	11979	10790	9587	8090	6780	6036	
Факт	<i>j = 1</i>	12169,61	11541,28	9446,20	8757,03	7934,41	6479,99	3998,62	60327,13
	<i>j = 2</i>	17574,73	12209,12	9329,32	10511,92	7571,34	6309,55	5209,14	68715,12
	<i>j = 3</i>	14939,96	13215,62	12530,98	11012,58	8828,61	8320,19	4978,78	73826,72
	<i>j = 4</i>	12872,85	11010,12	10505,24	9555,47	6078,36	6709,29	5863,90	62595,23
Сумма		57557,14	47976,14	41811,74	39837,00	30412,72	27819,02	20050,45	
ω'		0,726	0,954	0,861	0,900	0,985	0,945	0,694	
		0,982	0,818	0,684	0,987	0,792	0,788	0,881	
		0,729	0,828	0,895	0,893	0,843	0,992	0,770	
		0,881	0,912	0,973	0,997	0,669	0,989	0,971	
		$\omega'_{\max j} \sum i_{\text{факт}}$				$\omega'_{\min j} \sum i_{\text{факт}}$			
<i>j = 1</i>		59448,28				41854,98			
<i>j = 2</i>		67825,6				47011,36			
<i>j = 3</i>		73233,94				53837,92			
<i>j = 4</i>		62388,72				41879,32			
Сумма		262896,5				184583,6			
ω'_{\max}		0,990328							
ω'_{\min}						0,695324			
Средние ω'		0,842826							

Совокупность полученных результатов в настоящем исследовании позволяет прогнозировать уровень безопасности движения поездов в зависимости от капитальных вложений и планировать затраты для обеспечения заданного уровня безопасности. Планируя уровень заработной платы (рост или снижение относительно базового) по рисунку 2 определяем необходимый уровень ОЭН. По таблице 1 по ОЭН устанавливаем необходимые капитальные вложения и

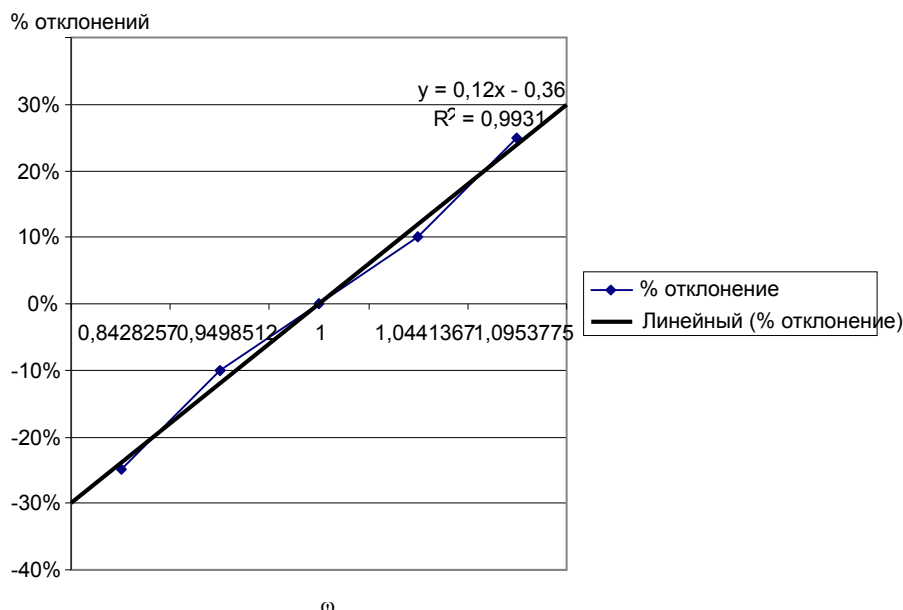


Рисунок 2 – Изменение ОЭН от заработной платы

по корреляционно-регрессионным уравнениям прогнозируем балльность содержания пути. Для обеспечения заданной балльности содержания пути по тем же уравнениям и рисункам определяем необходимый уровень заработной платы, ОЭН и необходимые капитальные вложения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Швецов, В.А. Разработка моделей и методов управления региональным строительством / В.А. Швецов. -М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. -264 с.
 - 2 Черкесов, Г.Н. Надежность аппаратно-программных комплексов: учеб. пособие / Г.Н. Черкесов. -СПб.: Питер, 2005. -479 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** организационно-экономическая надежность, качество путевых работ, уровень заработной платы
- СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:** Квинт Марина Юрьевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
- ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:** 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО БИЗНЕСА И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.И. Дутова

THE RELATIONSHIP OF DEVELOPMENT OF TOURISM AND RECREATION BUSINESS AND THE VARIOUS MODES OF TRANSPORT

«Siberian state transport university»

T.I. Dutova

The article describes the main types of transport in tourism and recreation business, the characteristics of air, road, rail and water transport, the target structure of travel, geography of tourism development in Russia. Priorities for all modes of transport for the tourist business in Russia are shown.

Рассматриваются основные виды транспорта в туристско-рекреационном бизнесе, даны характеристики авиационного, автомобильного, железнодорожного и водного транспорта, целевая структура поездок, география развития туризма в России. Показаны приоритетные направления всех видов транспорта для туристского бизнеса в России.

Одной из фундаментальных свобод человека является свобода перемещения. Туризм по сути дела является одним из способов реализации этой свободы, а транспортное обслуживание туристов – одной из составных частей индустрии туризма. Туризм полностью зависит от транспорта, его безопасности, скорости, удобства, стоимости. Транспортное обслуживание туристов – неотъемлемая часть туристического продукта. Транспорт является мате-

риальной основой расширения туристического движения, то есть индустрия туризма неразрывно связана с транспортом, но и транспортная отрасль заинтересована в привлечении туристов. Конкуренция среди различных видов транспорта привела к появлению чартерных авиарейсов, морских и речных круизов, специальных железнодорожных экспрессов, автобусных туров.

В таблице 1 представлена структура использования в туристско-рекреационном бизнесе основных видов транспорта. [2] Из данной таблицы видно, что туристы из близлежащих стран предпочитают преимущественно автомобильный и железнодорожный транспорт, а туристы, приезжающие из стран дальнего зарубежья, предпочитают авиационный транспорт.

Таблица 1 – Использование туристами различных видов транспорта в 2000 г.

Вид транспорта	Въезжающие в Россию, %		Выезжающие из России, %	
	из СНГ	из стран дальнего зарубежья	в СНГ	в страны дальнего зарубежья
Автомобильный	37,8	41,9	28,9	54,1
Железнодорожный	46,9	8,5	56,5	6,0
Авиационный	7,4	35,8	8,0	18,4

В России, учитывая ее отдаленность от основных мировых туристических центров, наиболее распространенным транспортом при выездном туризме является авиационный (на дальние расстояния) и автомобильный.

Во внутренних перевозках, в том числе и в перевозках туристов, с некоторым перевесом лидирует железная дорога. Также все возрастает роль автомобильного транспорта, так как многих привлекает мобильность и независимость этого вида транспорта.

Основная доля в общей структуре транспортных услуг в туристическом бизнесе принадлежит авиационному транспорту.

За первое полугодие 2008 года российские авиакомпании увеличили объем перевозок пассажиров по сравнению с аналогичным периодом 2007 года на 18,3% (по информации транспортной клиринговой палаты до 28,551 млн. чел.). Пассажирооборот авиакомпаний составил 70,034 пассажиро-километров (рост 17,4%). Для сравнения можно показать, что в 2000 г. пассажирооборот отечественных авиакомпаний составил 53,5 млрд. пасс./км, пассажиропоток – 21,8 млн. человек [1]. При этом существенный прирост пассажиров дали авиалиниям туристические направления. По данным Транспортной клиринговой палаты в тройку лидеров по числу перевезенных пассажиров вошли авиакомпании «Аэрофлот», «Сибирь», «Россия». Быстрее других объемы авиаперевозок (на 50% каждая) наращивали «ВИМ-авиа», «Трансаэро», «Оренбургские авиалинии» и «Татарстан». В число крупнейших авиаперевозчиков попал первый российский авиадискаунтер – Sky Express.

В целях расширения услуг и удобства путешествующих клиентов воздушные перевозки консолидируются с наземными и морскими (речными) и предлагают клиентам комбинированные виды перевозки. Иногда крупных авиакомпаний создают дочерние транспортные и туристские фирмы.

Популярен и широко используется туристами автомобильный транспорт. Этот вид транспорта, как правило, находится в частной собственности и является удобным рыночным сегментом для мелкого бизнеса.

Автотранспортные фирмы осуществляют местные, национальные и международные рейсы с постоянным расписанием и пунктом назначения или обслуживают клиентов по заказам. Широко распространены путешествия на автобусе, который используется как транспорт для регулярных и периодических рейсов по заказам. Туристские поездки на автобусе могут быть по времени короткими и продолжительными, сопровождаться дополнительными услугами: предоставлением жилья, питания, экскурсий.

Важным элементом индустрии туризма являются агентства по прокату автомобилей. Обычно транспортные фирмы являются межнациональными предприятиями, действующими в различных точках мира.

Широкое развитие автотранспорта приводит к созданию специальной сети придорожного обслуживания, которая включает многочисленные мотели, автостоянки, бары, придорожные закусочные и рестораны.

Автобусный туризм ориентирован в основном на потребителей с доходом ниже среднего уровня, большую часть которых составляют туристы пенсионного возраста и молодежь. По сравнению с путешествиями на других видах транспорта поездки на автобусах предос-

тавляют туристам возможность лучше познакомиться со страной, так как достоинствами автомобильного транспорта являются мобильность, доступность, возможность остановок по пути следования, широкий обзор.

Регулярные автобусные туристические перевозки – абсолютно новый в России вид деятельности. Однако, успешный опыт организации подобных перевозок в ряде других стран (Великобритания, Австралия, Турция и др.), дает общее представление о предлагаемой услуге и основание для предварительного вывода о ее перспективности.

Автомобильный транспорт можно с полным правом назвать транспортом всеобщего применения, так как он используется повсеместно: от трансферов и экскурсий, внутримаршрутных перевозок автобусами до малолитражных автомобилей туристами для личного пользования на отдыхе. Автобусы и автомобили – транспорт местного и внутрирегионального значения.

Главный конкурент автобусов в групповых перевозках – железная дорога. Железнодорожный транспорт с самого начала его зарождения был связан с туризмом. Железная дорога является удобным средством сообщения для транспортировки любых категорий туристов, начиная от туристов индивидуалов, больших и малых туристских групп на рейсовых регулярных линиях и чартерных поездах. Железнодорожный транспорт не зависит от состояния атмосферы, экономит время на экскурсии, так как вокзалы обычно находятся в центре города. Ослабление конкуренции на рынке авиаперевозок и, как следствие, рост цен на авиабилеты повысили возможности железнодорожного транспорта, который с конца 1990-х гг. переживает второе рождение – появляются высокоскоростные поезда, модернизируются магистрали.

Россия обладает самой протяженной сетью железных дорог в мире. Наличие густой сети железных дорог, особенно в европейской части страны, позволяет организовывать разнообразные по географии, форме и содержанию маршруты железнодорожных туров. Менее развита железнодорожная сеть Восточной части страны (Сибирь и Дальний Восток).

В режиме внутреннего туризма железнодорожный транспорт конкурентоспособен при реализации познавательного туризма, поездках выходного дня, экскурсиях.

Железнодорожный вид транспорта является основным в приграничных туристских перевозках: в Финляндию, Польшу, Словакию, Китай, Монголию, а также в бывшие республики СССР.

Водный транспорт включает суда морского и речного флота. Это более медленный, чем другие, вид транспорта, с высокими эксплуатационными расходами, зависящий от географических условий. Основные объекты его инфраструктуры – морские и речные порты.

Для перевозки большого количества пассажиров на длинные расстояния применяются трансокеанические суда, а на короткие и средние – морские паромы. При проведении круизов судно превращается в плавучую гостиницу, где предоставляется соответствующее обслуживание и развлечения. В качестве водного транспорта используются также прогулочные суда: яхты, катера. В последние годы увеличился спрос на паромы, которые перевозят не только туристов, но и их автомобили. Очень часто водный транспорт используют для посещения островов, где нет аэропортов.

В сфере морских путешествий очень высока степень концентрации рынка. Около 80% мирового круизного рынка контролируют семь крупнейших компаний: Carnival Cruise Lines, Royal Caribbean Cruise Lines, Princess Cruises, Holland American Lines, Celebrity Cruises Royal, Costa Cruise Lines (все США); Norwegian Cruise Lines (Норвегия) [3]. В целом на мировом рынке круизов господствующее положение занимают компании США.

Речной пассажирский транспорт традиционно и сегодня является важным средством передвижения на местных регулярных маршрутах, разработаны и широко используются скоростные суда, например на подводных крыльях, специальные плоскодонные суда с водометными движителями для мелководья, суда на воздушной подушке.

Для речных круизных перевозок строятся огромные трех-четырепалубные комфортабельные суда вместимостью до 300-400 пассажиров. Нередко реставрируются и восстанавливаются суда старинной постройки с оборудованием роскошных салонов и кают, систем отдыха и развлечения.

Россия по своему географическому положению имеет уникальную разветвленную сеть судоходных рек, каналов, озерных систем, которые активно используются в водном туризме. Имеется значительное количество разработанных круизных маршрутов.

В РФ наиболее активная круизная деятельность ведется в портах Черного моря и, как

это ни парадоксально, в Мурманске, так как у определенной части туристов, в основном иностранных, пользуется популярностью круиз на ледокольном судне к Северному полюсу.

Круизный рынок в Сибири и на Дальнем Востоке обладает огромным потенциалом. Поездки по Оби, Амуру, Лене, Енисею, Иртышу пользуются растущим спросом у россиян и иностранцев.

Таким образом, можно сделать вывод, что транспортная система России находится в стадии развития и ее рост в значительной степени обусловлен масштабами развития туристско-рекреационного бизнеса. Постоянно появляются новые маршруты, новые формы обслуживания, как пассажиров, так и туристов, предлагаются новые услуги, сервис становится более качественным. Но не снижается и острота проблем, с которыми сталкивается развитие транспортной системы России. Пожалуй, наиболее существенной является несоответствие имеющихся транспортных средств международным требованиям. Это касается всех видов транспорта.

Кроме того, сами перевозчики должны осознать, что перемены неизбежны и для сохранения и упрочения своих позиций на рынке необходимо приводить свои транспортные средства в соответствие с требованиями, как пассажиров, в общем, так и туристов в частности.

Тем не менее, процесс модернизации российской транспортной системы медленно, но верно идет, и альтернативы этому нет.

Будущее туризма требует совершенствования транспортного обслуживания за счет повышения качества предоставления транспортных услуг, формирования рациональной структуры транспортной отрасли и организации работы транспортных предприятий, соответствующей возрастающим запросам туризма, их взаимодействия с туристическими фирмами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Биржаков, М.Б. Индустрия туризма: перевозки / М.Б. Биржаков. -СПб., 2003. -397 с.

2 Транспорт в России: стат. сб. -М., 2007.

3 Круизный рынок России // Туризм. -2006. -№9. -С. 17.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *транспортная система, авиационный, автомобильный, железнодорожный, водный виды транспорта, туристско-рекреационный бизнес России, транспортное обслуживание*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Дугова Тамара Ивановна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

М.Ю. Квинт, Р.М. Брызгалова

MANAGEMENT OF COST FRACTIONS IS AS A BASIC OF INCREASING EFFICIENCY IN RAILWAY TRANSPORTATIONS

«Siberian state transport university»

R.M. Brizgalova, M.Yu Kvint

The results of cost fractions expertise in articles of expenditure are given in this article. Management of cost fractions in track facilities of railway transport is presented.

Приведены результаты экспертного анализа элементов затрат по статьям расходов. Предложена модель управления элементами затрат путевого хозяйства железнодорожного транспорта.

Инфраструктурный комплекс представляет собой затратный процесс, осуществляемый во времени, и зависимый от принятого варианта организации производства. Его эффективность определяется вариантами инвестирования проектов и применяемыми методами управления затратами. Под затратами понимают средства, идущие на осуществление всех видов деятельности предприятия за планируемый период. Этот показатель используется в расчетах прибылей и убытков. К издержкам относят средства, идущие на осуществление производственной и сбытовой деятельности. Зачастую термины «издержки», «затраты» и «расходы» используются как синонимы, хотя в действительности таковыми не являются.

Реформирование железнодорожного транспорта направлено на рост конкуренции как в перевозочном процессе, так и в инфраструктурном комплексе. Каждой организации для того, чтобы оставаться конкурентоспособной, привлекательной для заказчиков, в роли которых

будут выступать дирекции ОАО «РЖД», необходимо искать способы снижения себестоимости своей продукции при сохранении необходимого качества. Актуальной становится задача управления издержками инфраструктурного комплекса.

Значительный объем элементов затрат в инфраструктурном комплексе затрудняет их количественный анализ и, особенно, оценку управляемости, то есть принятия решений по ним для получения экстремальной целевой функции. Кроме того, как показывает практика, отнесение параметров затрат к управляемым и их значимость носят достаточно случайный характер, в значительной мере зависимый от экспертов.

Для эффективного управления издержками необходимо дать классификацию издержек, выявить управляющие, свободные и управляемые переменные издержек. Решение этой задачи возможно методом экспертных оценок. Суть метода состоит в получении согласованного мнения экспертов. В группу экспертов из 10-ти человек вошли ведущие специалисты организаций г.Новосибирска, которым было предложено из 37-ми выделить наиболее значимые элементы затрат, то есть осуществить ранжирование и определить управляемые и неуправляемые. При обработке анкетных данных, результаты ранжирования сведены в таблицу и установлена значимость ранга каждого элемента затрат:

$$R_i = \sum_{j=1}^m r^{ij}; \quad i = 1, n; \quad j = 1, m;$$

где r^{ij} – ранг, присвоенный j -м экспертом i -му элементу затрат;

n – количество элементов затрат;

m – число экспертов.

Согласованность экспертов относительно ранжирования элементов затрат оценивается по следующим формулам:

$$\omega = \frac{S(d^2)}{\frac{1}{2}m^2(n^3 - n)}; \quad S(d^2) = \sum_{i=1}^n (R_i - R_{cp})^2 = \sum_{i=1}^n \left\{ \sum_{j=1}^m \left[r^{ij} - \frac{1}{2}m(n+1) \right] \right\}^2; \quad R_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n R_i}{n} = \frac{1}{2}(n+1),$$

где ω – коэффициент конкордации $0 \leq \omega \leq 1$;

$S(d^2)$ – дисперсия;

R_i – балльные оценки экспертов;

R_{cp} – среднее значение оценок.

При $\omega = 0$ -мнения экспертов не совпадают, то есть все ранжировки различны;

при $\omega = 1$ -полная согласованность экспертов.

В нашем случае коэффициент конкордации составил 0,88, то есть согласованность экспертов достаточна для того, чтобы использовать полученные данные в качестве исходных при построении модели решения задач оптимизации и управления производственными процессами. Определена также вероятность отнесения параметра к управляемым затратам (таблица 1).

Как известно, эффективность производства определяется его себестоимостью и прибылью, которые создают стоимость продукции. Возможность управления затратами позволяет поставить задачу оптимизации себестоимости следующим образом. Пусть расчетная себестоимость СМР определяется как

$$C_p = \sum_{i=1}^n C_i R_i + \bar{Z}_m H \frac{T}{T_{мес}} \cdot K_{НР} + \sum_{j=1}^m S_j K_{mj}, \quad (1)$$

где C_i – планово-расчетная цена единицы i -го материала, $i = 1, \bar{n}$;

n – число видов материалов;

R_i – объем i -го материала, израсходованный за расчетный период времени;

\bar{Z}_m – средняя месячная зарплата рабочих;

H – численность рабочих;

T – расчетный период времени;

$T_{мес}$ – длительность месяца;

S_j – стоимость машиномены j -й машины;

K_{mj} – количество машиномен j -й машины, отработавшей в периоде T ;

$K_{НР}$ – коэффициент накладных расходов.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 1 – Группировка затрат по элементам и статьям расходов

Затраты по статьям расходов	Элементы затрат	Вероятность отнесения к управляемым затратам
Материальные затраты	стоимость материалов, строительных конструкций и деталей	0,2
	стоимость топлива, энергии, пара, воды, запасных частей для строительных машин и механизмов	0
	износ временных сооружений, приспособлений и устройств	0,2
	износ малоценных и быстроизнашивающихся предметов	0,7
	затраты, связанные с использованием природных ресурсов	0,9
Затраты на оплату труда	стоимость потерь от недостачи поступивших матер. ресурсов в пределах норм естественной убыли	0,5
	затраты на оплату труда всего персонала	1,0
	выплаты стимулирующего и компенсирующего характера	1,0
	оплата ежегодных и дополнительных отпусков	1,0
	единовременные вознаграждения за выслугу лет	0,8
	выплаты, обусловленные районным регулированием оплаты труда	0,7
	надбавки к заработной плате за непрерывный стаж работы в районах крайнего Севера	0,6
	оплата отпуска перед началом работы выпускникам ПТУ и молодым специалистам	0,7
	доплаты в случае временной утраты трудоспособности	0,9
	оплата учебных отпусков	0,8
	надбавки за подвижной и разъездной характер работы	0,8
	оплата работникам за дни отгула, предоставляемые им в связи с работой сверх нормальной продолжительности рабочего времени	1,0
	заработная плата по основному месту работы руководителям и специалистам во время их обучения и повышения квалификации	0,9
	плата работникам-донорам	0,7
	оплата труда студентов, проходящих производственную практику	0,9
	Отчисления на социальные нужды	оплата труда работников по заключенным договорам гражданско-правового характера
оплаты простоев и работы, признанной браком не по вине работника		0,9
Амортизация основных средств	обязательные отчисления, установленные законодательством соц. страхования, пенсионного фонда, медицинского страхования	0
Прочие затраты	амортизационные отчисления на восстановление основных средств	0
	налоги, сборы, платежи (включая по обязательным видам страхования), отчисления в страховые фонды	0,1
	платежи за выбросы загрязняющих веществ	0,2
	вознаграждения за изобретения	–
	оплата процентов по кредитам	0,9
	плата сторонним организациям за пожарную и сторожевую охрану	1,0
	оплата за подготовку и переподготовку кадров	0,8
	затраты на командировки, подъемные	0,8
	оплата работ по сертификации продукции	0,6
	оплата услуг связи, банков	1,0
	амортизация по нематериальным активам	0,9
	оплата аренды объектов ОПФ	0,9
	лизинговые платежи	0,9
	затраты на рекламу	1,0
страхование имущества организации, жизни и здоровья работников	1,0	

Среди множества известных на сегодня моделей [1], на наш взгляд для оптимизации себестоимости по статьям затрат, приведенных в (1), целесообразно применять метод полного факторного эксперимента (ПФЭ).

Планирование эксперимента (ПЭ) позволяет по заранее сформулированным правилам – алгоритмам изменять одновременно несколько факторов (компонентов) и получать максимальную информацию о происходящем процессе при минимальном количестве опытов.

Задача ПЭ в инфраструктурном комплексе заключается в выборе необходимых объектов и методов математической обработки полученных результатов, а также в принятии решения. Такой подход в процессе исследования допускает отсеивание незначимых факторов, не оказывающих сильного влияния на эксперимент [2].

Общий случай сводится к следующему.

Имеется k -переменных $b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + \dots + b_kZ_k$ (входные переменные или факторы).

Откликом параметров оптимизации является y -выходная переменная

$$y = \varphi(Z_1, Z_2, \dots, Z_k), \quad (2)$$

такая функция называется функцией отклика.

Выбор модели сводится к выбору вида этой функции, записи ее уравнения. Далее планируются и проводится эксперимент для оценки численных значений коэффициентов этого уравнения.

Простейшей является линейная модель

$$y = b_0 + b_1Z_1 + b_2Z_2 + \dots + b_kZ_k. \quad (3)$$

Для определения $b_0, b_1, b_2, \dots, b_k$ необходимо провести опыты (собрать статистику), в каждом из которых факторы Z_1, Z_2, \dots, Z_k принимает определенные значения. Число объектов зависит от поставленной задачи. Для модели (2) достаточно двух значений для каждого фактора.

Уровни факторов представляют собой границы исследуемой области по данному параметру Z_j^{\max} и Z_j^{\min} .

Далее определяют для любого фактора Z_j основные уровни Z_j^0 и интервалы варьирования ΔZ_j .

$$Z_j^0 = \frac{Z_j^{\max} + Z_j^{\min}}{2}; \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (4)$$

Точки координат $Z_1^0, Z_2^0, \dots, Z_k^0$ называются центром плана.

$$\Delta Z_j = \frac{Z_j^{\max} - Z_j^{\min}}{2}. \quad (5)$$

От переменных Z_1, Z_2, \dots, Z_k переходят к факторам в безразмерном масштабе

$$X_j = \frac{(Z_j - Z_j^0)}{\Delta Z_j}; \quad j = 1, 2, \dots, k. \quad (6)$$

Для переменных X_1, X_2, \dots, X_k -верхний уровень равен +1, нижний уровень: -1; координаты центра плана равны нулям и совпадают с началом координат.

В новых обозначениях модель принимает вид

$$y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_kX_k. \quad (7)$$

Так как каждый фактор независимо от других принимает два значения, то в случае K - факторов число опытов (объектов) в таком эксперименте составляет $N = 2K$.

План проведения опытов и их результаты заносятся в таблицу 2, называемую матрицей планирования, где значения факторов приводят в кодированном виде, значения отклика – в реальном масштабе.

Дополнительно в матрицу плана вводят столбец фиктивной переменной $X_0 = +1$ для определения коэффициента b_0 .

Любой коэффициент уравнения (6) определяется скалярным произведением столбца y на соответствующий столбец X_j , деленным на число опытов в матрице планирования N .

$$B_j = \left(\sum_{i=1}^N X_{ji} Y_i \right) / N, \quad (8)$$

Коэффициенты уравнения некоррелированы между собой. Значимость коэффициентов уравнения можно проверить для каждого коэффициента в отдельности по критерию Стьюдента [3].

Исключение из уравнения незначимого коэффициента не скажется на остальных коэффициентах. При этом выборочные коэффициенты b_j оказываются так называемыми несмещенными оценками. Для соответствующих теоретических коэффициентов $\beta_j \rightarrow b_j$, β_j , то есть значения коэффициентов уравнения характеризуют вклад соответствующего фактора в величину. Кроме значимости коэффициентов b_j , y_i необходимо проверить адекватность полученного уравнения по критерию Фишера [4]. Если модель адекватна, можно приступить к интерпретации результатов.

Задача интерпретации решается в несколько этапов. На первом этапе устанавливается, в какой мере каждый из факторов влияет на параметр оптимизации. Величина коэффициента регрессии – количественная мера этого влияния. Чем больше коэффициент, тем сильнее влияет фактор. О характере влияния говорят знаки коэффициентов. Знак плюс свидетельствует о том, что с увеличением значения фактора растет величина параметра оптимизации, а при знаке «минус» – убывает.

Интерпретация знаков при оптимизации зависит от того, ищем ли мы максимум или минимум функции отклика.

Если $y \rightarrow \max$, то увеличение значений всех факторов, коэффициенты которых имеют знак «плюс», благоприятно, а имеющих знак «минус» – неблагоприятно. И, наоборот, при $y \rightarrow \min$.

В качестве интегрального показателя, обобщенно характеризующего производственные, организационно-технологические и экономические факторы, определяющие поведение системы в целом целесообразно выбрать организационно-экономическую надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Воробьев, В.С. Формирование логистических систем транспортного строительного комплекса в районах индустриального освоения / В.С. Воробьев. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2004. -324 с.

2 Гайдар, С.М. Математическая модель для решения задач оптимизации и управления химико-технологическими процессами / С.М. Гайдар // Перспективные результаты фундаментальных исследований. Модели коммерциализации в государственно-частном партнерстве 17-20 окт. 2006 г.: сб. науч. тр. и инж. разработ. -М., 2006.

3 Годин, А.М. Статистика / А.М. Годин. -М.: Дашков и К, 2006. -492 с.

4 Мхитарян, В. Статистика / В. Мхитарян. -М.: Экономистъ, 2006. -671 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *затраты, издержки, модель, элементы затрат, экспертный анализ*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Брызгалова Роксана Маратовна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*
Квинт Марина Юрьевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

РАЗВИТИЕ ЛИЗИНГА РЕЧНОГО ФЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.О. Самбур

THE DEVELOPMENT OF RIVER FLEET LEASING IN CRISIS CONDITIONS

«Novosibirsk state academy of water transport»

A.O. Sambur

The article deals with the current condition of Russian river fleet and the possibility of development for fleet in crisis.

Рассмотрено нынешнее состояние российского речного флота и возможности по его развитию в условиях финансово-экономического кризиса.

На протяжении 1999-2007 годов российская экономика ежегодно демонстрировала прирост внутреннего валового продукта (ВВП) в среднем на 6,9% [6]. Такой высокий темп прироста ВВП стал возможен благодаря постоянно возрастающим государственным вложениям, финансируемым за счет благоприятной экономической конъюнктуры на мировых сырьевых рынках, и притока в страну иностранных инвестиций, главным образом в нефте-, газо-транспорт, добывающие отрасли. В этот период в России были отмечены общая стабилизация экономической обстановки и рост благосостояния населения.

Параллельно с этим высокого значения достигла величина корпоративной задолженности российских промышленных и финансовых компаний перед крупнейшими финансово-кредитными учреждениями Европы и США, при этом российский государственный долг был практически полностью погашен. Львиная доля зарубежного капитала, поступающего в российский банковский сектор, направлялась на быстро растущие мировые фондовые рынки, принося доход, порой существенно превышающий доход от традиционных кредитных операций. Таким образом, вместо кредитования реального сектора экономики банки увлеклись спекулятивными операциями на фондовом рынке, не в полной мере удовлетворяя потребности российских компаний в инвестициях.

В марте-апреле 2007 г. российские банкиры испытали недостаток в финансировании со стороны зарубежных кредитных учреждений. «Кризис ликвидности» стал первой ласточкой надвигающегося кризиса 2008 г., инициатором которого явилась самая мощная в мире экономика США, считавшаяся на протяжении многих лет «локомотивом» мировой экономики.

До 2000 года американский фондовый рынок показывал достаточно высокие темпы роста, буквально притягивая инвесторов со всех стран. Международные капиталы, в том числе российских компаний и банков, вкладывались в быстрорастущие американские ценные бумаги, тем самым ограничивая отечественные компании в кредитных ресурсах. В конце 2000 года на фондовом рынке США рост котировок сменился падением, что стало возможным вследствие наличия в экономике США очень серьезного структурного кризиса. 3 января 2001 г. финансовые власти США приняли решение о снижении учетной ставки, что должно было повысить деловую активность в стране, подтолкнув фондовый рынок к росту. Агрессивное снижение учетной ставки Федеральной Резервной Системой США (ФРС США) привело к ситуации, когда инвестиционная доходность основных американских фондовых площадок стала ниже, чем текущая инфляция внутри страны. Вдобавок к этому денежные власти перешли на использование прямой поддержки фондового рынка методами периодических негласных финансовых интервенций. Все эти действия послужили причинами финансово-экономического кризиса, который уже распространился далеко за пределы самых США [1].

В силу того, что многие российские банки на протяжении достаточно длительного периода фондировались за рубежом, наступивший финансовый кризис 2008 года сильно ограничил возможности по рефинансированию в западных финансово-кредитных учреждениях. В России в одночасье «кредитный бум» сменился затишьем на рынке кредитования, что привело к невозможности предприятий нормально функционировать, исполняя утвержденные бюджеты развития.

Наличие проблем с ликвидностью в банковском сфере моментально отразилось на всех субъектах экономики, ощутивших нехватку в оборотных средствах и инвестициях. Это привело к массовым увольнениям персонала, снижению уровня текущих производственных запасов, расходов на социальные программы, а также программ модернизации и перевооружения основных фондов. Финансовый кризис перешел в следующую, более острую фазу - финансово-экономический кризис, парализовавший уже и реальный сектор экономики. Всё вышперечисленное привело к резкому падению ВВП России, по сути поставив крест на планах бывшего Президента РФ Путина В.В. удвоить к 2010 году ВВП [4].

По мнению автора, нынешний кризис может пойти на пользу российской экономике в решении проблемы сильной изношенности основных производственных фондов страны. Источником кризиса послужил сильно «перегретый» фондовый рынок США, который десятилетиями притягивал огромную часть мировых капиталов, обеспечивая инвесторам высокую доходность. Его падение вызвало колоссальное «бегство» капиталов с американских фондовых площадок и, в незначительной степени, из государственных казначейских бумаг США. Таким образом, высока вероятность того, что в результате падения фондового рынка США крупный российский бизнес начнет «выводить» капиталы из сильно обесценившихся фондовых активов и вкладывать их в отечественную экономику. В довесок к этому Министерство

финансов РФ откажется от политики поддержки американской «финансовой» пирамиды, которую власти США выстраивали на протяжении последних лет, и начнет вкладывать данные средства в отечественные инфраструктурные проекты и в поддержку сильно отставших в производственном отношении отраслей. Единовременное вложение всех финансовых средств, «отозванных» из зарубежных активов, может породить высокую инфляцию в российской экономике. Этого можно избежать, если равномерно «выводить» капиталы с западных рынков (в том числе из государственных казначейских обязательств США), вкладывая их в долгосрочные инфраструктурные проекты и особо нуждающиеся в инвестициях отрасли. Всё это приведет к увеличению ВВП и решению проблемы нехватки долгосрочных «дешевых» инвестиций в стране. Для этого от российских властей требуется проявить активную позицию в вопросе отказа от участия в существующей мировой финансовой модели и, не на словах, а на деле, перейти к построению новой финансовой архитектуры мира, в которой страна, богатая ресурсами и бизнес-идеями, займет передовые позиции.

Российская речная отрасль является одной из отраслей, наиболее остро нуждающихся в долгосрочных инвестициях в основной капитал. Большое количество судостроительных и судоремонтных заводов испытывают потребность в колоссальных финансовых средствах для обновления своих производственных мощностей. Строительство новых верфей и применение современного высокотехнологичного оборудования позволит строить современные, ранее не производимые в России суда. К примеру, во многих развитых странах корпуса судов производятся с применением передовых методов судостроения – использованием крупноблочных элементов, в то время как в России данные технологии до сих пор практически не применяются [3]. Вложение средств в преодоление технологической отсталости позволит обновить отечественный речной флот за счет собственного производственного потенциала.

Следующим этапом в развитии речной отрасли должно стать приобретение иностранных технологий производства уникального судового оборудования, аналогов которого не производят в России. Параллельно с этим должна вестись разработка отечественного судового оборудования.

До сих пор многие российские судоверфи осуществляют лишь постройку корпусов судов, продавая их иностранным судостроительным компаниям, которые производят доукомплектацию судна оборудованием. Для налаживания в стране полного производственного цикла судов, необходимо в обязательном порядке «обнулить» импортные пошлины и налог на добавленную стоимость на ввозимое уникальное судовое оборудование до момента, пока отечественные предприятия не начнут производить подобное оборудование. Производство отечественных судов закроет потребность российских судоходных компаний во флоте. При этом огромная часть добавленной стоимости судов отечественного производства будет оставаться внутри страны, что позволит создать дополнительные рабочие места, увеличит налоговые поступления в бюджеты всех уровней и укрепит экономическую безопасность страны, снизив зависимость от иностранных судостроителей.

В последние годы власти страны неоднократно делали официальные заявления, что Россия в ближайшее время будет активно осуществлять переход на инновационные рельсы развития экономики. На Петербургском международном экономическом форуме при встрече с руководителями международных корпораций и представителями международного банковского сообщества Президент РФ Дмитрий Медведев заявил: «Может быть такой удачной ситуации для того, чтобы постараться перевести экономику на инновационные рельсы, провести технологическую модернизацию, даже при всех сложностях кризиса, больше не будет». Этим самым Президент РФ призывает российский бизнес воспользоваться возможностями, представленными кризисом, чтобы инновационное развитие в стране приобрело устойчивый характер [8].

Переход на инновационные рельсы развития означает не только внедрение передовых научных разработок и технологий в производство, но и внедрение современных концепций и программ развития экономики. Ключевая роль в данном процессе отводится транспортному комплексу России, обладающему огромным потенциалом роста. При этом одной из прогрессивных отраслей транспортного комплекса можно по праву считать речную отрасль, учитывая самую большую в мире протяженность судоходных внутренних водных путей России – порядка 102 тыс. км.

В настоящее время судоходные компании Сибири и Дальнего Востока в основном полагают морально и физически изношенным флотом. Отсутствие необходимого уровня ин-

вестиций в обновление флота в последние два десятилетия привели к упадку основного рабочего ядра флота. Для радикального перелома существующего положения требуется крупномасштабное переоснащение и замена судов. При этом финансовое положение большинства судоходных компаний не позволяет им собственными силами решить данную проблему в близлежащей перспективе.

На одном из заседаний кабинета министров Правительства РФ бывший Премьер-министр РФ Виктор Зубков отметил: «В целях реализации инновационной модели экономического роста нашей страны требуется в полной мере обеспечить опережающее развитие транспортной инфраструктуры. Она должна быть доступной, безопасной и эффективной. Необходимо переходить от фрагментарного обеспечения потребностей отрасли к выстраиванию системы ее долгосрочного развития. Это возможно сделать в рамках Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)» как логического продолжения программы «Модернизация транспортной системы России (2002-2010 гг.)» [5].

Опережающее развитие транспортной инфраструктуры позволит транспортным компаниям развиваться более быстрыми темпами. «Катализатором» развития российских судоходных транспортных компаний может послужить создание специализированной лизинговой компании «Речфлотлизинг», созданной на принципах государственно-частного партнерства. Создание подобной компании приведет к росту числа долгосрочных лизинговых контрактов, в чем остро нуждаются судоходные компании. Это приведет к ускорению процесса обновления российского речного флота. В результате будет найдено применение тем огромным российским капиталам, которые будут «выводиться» с западных фондовых площадок, путем их размещения в конкретные проекты по модернизации речного флота и экономики в целом. Данные капиталовложения, в разных формах – лизинговые контракты, долгосрочные инвестиционные кредиты и прочие – позволят избежать огромной инфляции в текущем периоде, которой нас пугают чиновники из Министерства финансов РФ. Как итог, наша страна сможет постепенно восстановить инфраструктуру, поднять гибнущие производства и отрасли, находящиеся в упадке.

Восстановив производственную базу и наладив функционирование, российские компании начнут платить налоги в бюджет, при этом возвращая ранее взятые лизинговые и кредитные средства, которые будут реинвестированы в новые крупномасштабные проекты. Таким образом, одновременно удастся решить ряд важных принципиальных вопросов, стоящих перед страной:

- для Министерства финансов РФ – проблему возникновения гиперинфляции при возврате из-за рубежа огромного потока денежных средств, вложенных в экономики других государств и зарубежные фондовые площадки;
- для Министерства транспорта – восстановление транспортного хозяйства страны, включая инфраструктуру, что повысит конкурентоспособность отечественных транспортных компаний и эффективность всей экономики в целом;
- для Министерства промышленности и торговли – обновление целых отраслей народного хозяйства, которые смогут производить современную высокотехнологичную продукцию.

В результате инвестирования в долгосрочные проекты посредством «целевых» финансово-кредитных организаций подобных лизинговой компании «Речфлотлизинг», при грамотном вложении средств не только Резервного фонда и Фонда национального благосостояния, но также средств внебюджетных фондов и частных инвесторов удастся преодолеть отсталость ключевых российских производственных секторов, а их развитие, в свою очередь, потянет за собой рост всех смежных отраслей.

Для достижения желаемых результатов в вопросе обновления речной отрасли необходимо разработать специальную подпрограмму в рамках Федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)», в которой должны быть указаны источники финансирования мероприятий по развитию судоходных компаний, механизмы выделения им средств, порядок и алгоритм работы с ними.

Проанализировав все достоинства речного транспорта, главным образом технико-экономические показатели работы флота и его стратегическое значение для страны, напрашивается однозначный ответ – речному флоту России быть! Как правило, на многих направлениях перевозок, особенно в районы крайнего Севера и в труднодоступные районы «пролегания» малых рек, никакой другой вид транспорта не выдерживает конкуренции с речным транспортом. Таким образом, целесообразно более широко использовать речной флот в

транспортном процессе страны, в том числе путем его взаимодействия со смежными видами транспорта. Необходимо отметить, что речному транспорту может быть отдан приоритет в развитии перевозок в меридионального направления. Это позволит переориентировать прочие виды транспорта на стремительно растущие грузоперевозки в широтном направлении, в частности в направлении: Европа-Азия.

Для осуществления планов восстановления былого транспортного величия России разразившийся кризис является очень удобным моментом. Большинство инвесторов уже занялись пересмотром своих инвестиционных портфелей в пользу вложения средств в более предсказуемые и «осязаемые» активы. В условиях нынешнего мирового финансово-экономического кризиса цены на все основные базовые ресурсы, в том числе и на металлы, значительно упали. Кроме того, в связи с сокращением совокупного спроса на большинство товаров, снизилась стоимость всех судовых комплектующих – двигателей, судового оборудования и прочих, включая оборудование иностранного производства. Как следствие, снизилась величина потенциальных затрат, которые необходимо вложить в перевооружение судостроительных и судоремонтных предприятий, а также в постройку судов на отечественных верфях.

Российские власти и бизнесмены на протяжении ряда лет говорили о хронической нехватке инвестиций в России. Политика Министерства финансов РФ по кредитованию своих стратегических зарубежных партнеров (вложение средств в ценные бумаги с высоким кредитным рейтингом и предоставление межправительственных займов) в ущерб собственной экономике губительна для России. Последний шаг Центрального Банка РФ по снижению ставки рефинансирования до 10% (снижение произошло 30 сентября 2009 года), безусловно, окажет положительное влияние на деловую активность хозяйствующих субъектов экономики [9]. Кроме того, это позволит несколько снизить стоимость лизинговых услуг для доходных компаний.

Силами созданной корпорации – ОАО «Объединенная судостроительная корпорация», включающей Западный, Северный и Дальневосточный центры судостроения и судоремонта планируется начать возрождение отечественного морского и речного флота на базе предприятий, построенных ещё в советскую эпоху. Глава Федерального агентства по промышленности (Роспром) Андрей Дутов заявил: «Объем внутреннего рынка гражданского судостроения до 2015 года составит порядка 22,8 млрд. долларов, экспортные перспективы, согласно расчетам, могут составить около 2 млрд. долларов. Поскольку корабли – продукция дорогостоящая, решено в 2009-2011 годах выделить из федерального бюджета 8,4 млрд. руб. на лизинговые процедуры» [7].

По словам Министра промышленности и торговли Виктора Христенко: «Уже утверждены правила субсидирования затрат на уплату процентов по кредитам на закупку и лизинг судов российской постройки на 2008-2010 годы; федеральным бюджетом предусмотрено выделение средств для капитализации ОАО «Объединенная судостроительная корпорация» в целях реализации проектов лизинга судов отечественной постройки, субсидий российским судовладельцам на возмещение части затрат на уплату лизинговых платежей, на приобретение судов, изготовленных на российских верфях» [2].

Таким образом, российские власти постепенно стали приходить к пониманию того, что поднимать судостроительную отрасль и отечественные судоходные компании, используя лизинговые схемы, – занятие более перспективное и прибыльное, нежели постоянно приобретать суда за рубежом, что слишком дорого и может в дальнейшем угрожать национальной безопасности страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кобяков, А. Закат империи доллара и конец Pax Americana / А. Кобяков, М. Хазин. -М.: Вече, 2003.
- 2 Спасая судостроение: стратегия развития судостроительной промышленности до 2020 года и на дальнейшую перспективу // Реч. трансп. (21 век). -2009. -№1. -С. 48-56.
- 3 Послание Президента России В.В. Путина Федеральному Собранию РФ 16 мая 2003 года [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// archive. kremlin. ru/ text/ appears/ 2003/ 05/ 44623.shtml](http://archive.kremlin.ru/text/appears/2003/05/44623.shtml).
- 4 Выступление Виктора Зубкова на заседании Правительства РФ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http:// www. government. ru/ content/ rfgovernment/ rfgovernmentvicechairman/](http://www.government.ru/content/rfgovernment/rfgovernmentvicechairman/)

chronicle%5Fzubkov/archive/2008/04/24/3460352.htm.

5 Экономика и её носители [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.razgovor.org/economy/sudba/article485>.

6 Госбюджет до 2010 г. получит 75 млрд. рублей от реализации стратегии развития судостроения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.realeconomy.ru/966/1051/1050/index.shtml?id=6220>.

7 Медведев Д. Пока не удастся перевести Россию на инновационные рельсы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.gosbalt.ru/2009/06/06/645999.html>.

8 Ставка рефинансирования Центрального банка Российской Федерации [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.cbr.ru/print.asp?file=/statistics/credit_statistics/refinancing_rates.htm.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: кризис, развитие, речной флот, фондовый рынок
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Самбур Александр Олегович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
«Строительно-монтажный трест №12», филиал
ОАО «Росжелдорстрой»

В.С. Воробьев, К.В. Каталымова, Н.М. Лихачева

THE SIMULATION MODEL OF SUPPLY MANAGEMENT OF MATERIAL RESOURCES IN TRANSPORT CONSTRUCTION

«Siberian state transport university»
«Construction trust No.12», branch «Roszheldorstroj»
V.S Vorobjev, K.V Katalimova, N.M Lihacheva

The approach to a planning of railway construction, which is based on accounting of probabilistic nature of supply of material resources is presented.

Предложен подход к планированию строительства железных дорог, основанный на учете вероятностного характера поставок материальных ресурсов.

Ресурсное обеспечение транспортного строительства играет определяющую роль в сроках реализации инвестиционно-строительных проектов. Стратегией развития железнодорожного транспорта предусмотрено новое железнодорожное строительство, в основном, в зонах освоения Севера, Сибири и Дальнего Востока в условиях сурового климата и отсутствия индустриальной инфраструктуры. Процессы материального обеспечения строительства в этих условиях подвержены значительному влиянию комплекса случайных факторов. Поэтому определяющим в прогнозировании и планировании поставок материальных ресурсов становятся методы математического моделирования и, в первую очередь, стохастической имитации.

В [1] рассмотрена имитационная модель, учитывающая потребность материальных ресурсов при производстве строительно-монтажных работ. Она предполагает их своевременную поставку. Нами предлагается модель, учитывающая вероятностный характер поступления ресурсов.

В модели приняты следующие обозначения:

- T – период планирования;
- M – множество материальных ресурсов, поставляемых к местам производства работ;
- S – число поставщиков ресурсов;
- n – число плановых периодов;
- $P(t)$ – вероятность поставок материальных ресурсов на объект к моменту времени t ;
- q – параметр, характеризующий интенсивность поставок;
- $Z(t)$ – объем поставок материальных ресурсов к моменту времени t ;
- V – средняя скорость доставки ресурса.

Расход материалов и потребление конструкций в процессе производства работ может быть равномерным, порционным и «на начало работы». Последнее означает, что работа

должна быть полностью обеспечена материалами или конструкциями на весь ее объем на момент начала выполнения.

Поставки материалов и конструкций задаются в виде их перечня и объема по периодам.

В модели можно учитывать поставки от внешних (заводы ЖБИ, металлоконструкций и т.д.) и внутренних (склады УПТК, СМП, приобъектные полигоны) поставщиков.

Объем поставок внутри периодов может быть определен и носить вероятностный характер. Каждый поставщик по каждому виду материалов и конструкций может характеризоваться различной вероятностью. Статистические исследования поставок материальных ресурсов на объекты, выполненные на строительстве БАМ, показали их вероятностный характер. На рисунке 1 приведены кривые вероятности поставок материальных ресурсов. Точка А на кривой 1 обозначает, что к моменту времени t^* запланированный на период T объем ресурсов будет поставлен с вероятностью $P = 0,5$. 50% запланированного объема ресурса.

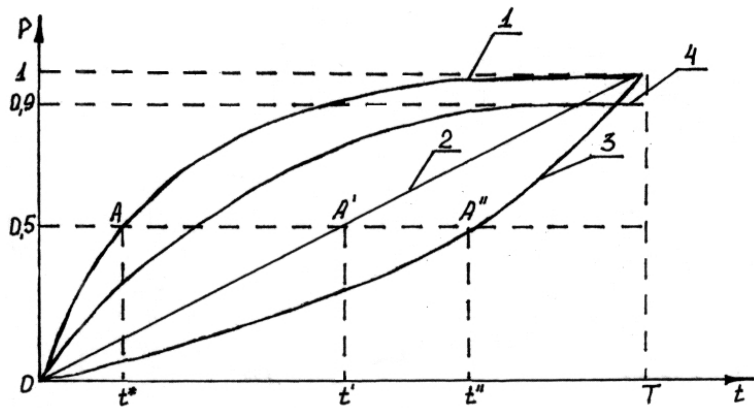


Рисунок 1 – Вероятность поставок материальных ресурсов

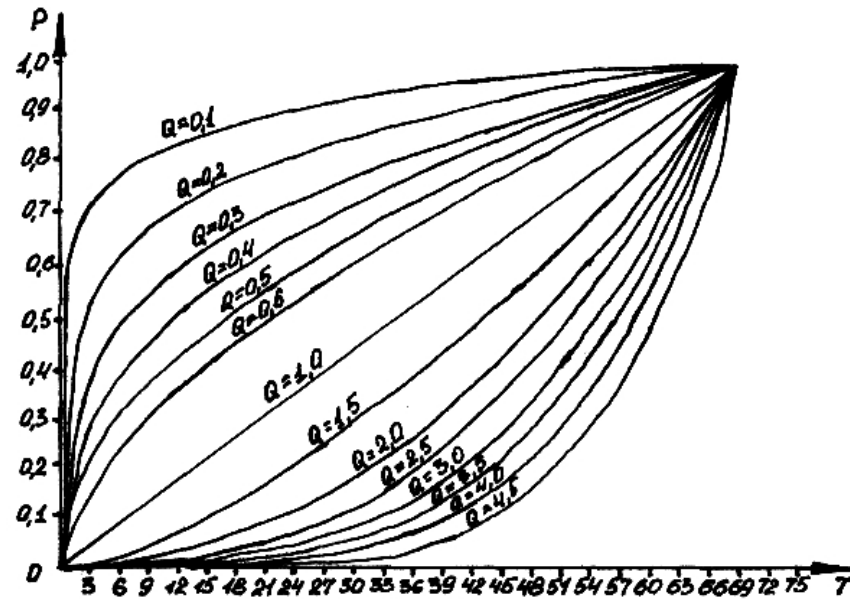


Рисунок 2 – Кривые для выбора интенсивности поставок ресурсов

Точки А', А'' обозначают, что те же 50% запланированного на период T объема ресурса, будут поставлены соответственно к моментам времени t' и t'' (кривые 2, 3).

К концу периода T ожидается полная поставка ресурса с вероятностью $P = 1$ (кривые 1-, 3). В соответствии с кривой 4 на конец периода T запланированный объем ресурса может быть поставлен с вероятностью $P = 0,9$, то есть возможны недопоставки и т.д.

Приведенные на рисунке 1 кривые описываются уравнениями параболы q -й степени

$$P(t) = \frac{1}{T^q} t^q.$$

Интенсивность поставок q определяется из семейства кривых (рисунок 2) при заданной вероятности и сроке поставки.

Характер поставок материальных ресурсов по периодам представлен на рисунке 3. Заштрихованные участки определяют допустимую область объемов поставок.

Конкретные объемы поставок определяются заданными (рисунок 1) вероятностями поставок и описываются уравнениями:

$$Z_{kln}(t) = Z_{kln-1} + Z_{kln} \cdot \frac{1}{T^{q_{kln}}} (t - (n-1)T)^{q_{kln}}; (n-1)T \leq t \leq nT; k = \overline{1, M}; l = \overline{1, S}; n = \overline{1, 2, 3, \dots}$$

Время доставки ресурса от поставщика до объекта рассчитывается по выражению:

$$t_{ij} = \frac{R_{ij}}{V \cdot P_g} + t_c; \quad i = \overline{1, PR}; \quad j = \overline{1, JP}; \quad (V \cdot P_g),$$

где R_{ij} – расстояние от i -го поставщика до j -го объекта;
 P_g – вероятность того, что фактическая скорость доставки ресурса будет не ниже V ;
 t_c – страховое время, гарантирующее своевременность доставки ресурса.

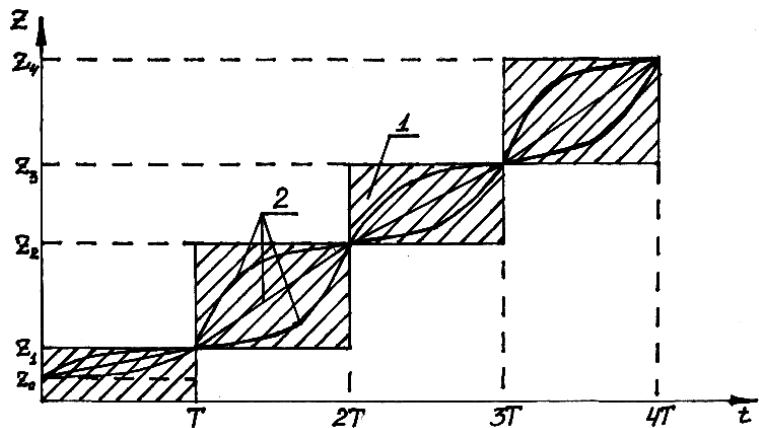


Рисунок 3 – Поставки материалов или конструкций:
 1-область допустимых значений; 2-семейство кривых прогнозируемых поставок

Время доставки ресурса от поставщика до объекта при моделировании может определяться также как случайная величина по выражению

$$t_{ij} = \frac{R_{ij}}{(NORM \cdot DV + V)} + t_c,$$

где $NORM$ – нормальное распределенное случайное число;
 V, DV – среднее значение и среднеквадратическое отклонение скорости доставки ресурса.

Работа на объекте при моделировании считается обеспеченной материальными ресурсами в том случае, если у поставщика (например, склад СМП) на момент времени, обеспечивающий его доставку на объект к началу работы, имеется достаточный объем ресурса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Брызгалова, Р.М. Имитационная модель управления стоимостью железнодорожного строительства / Р.М. Брызгалова, В.С. Воробьев, К.В. Каталымова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Вост.: науч. журн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -2008. -№2. -С. 51-57.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: планирование строительства железных дорог

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

Каталымова Ксения Валерьевна, начальник отдела правовой и кадровой работы СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

Лихачева Наталья Маратовна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

663003, г. Новосибирск, ул. Саратовская, 13, СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
 «Строительно-монтажный трест №12», филиал
 ОАО «Росжелдорстрой»

В.С. Воробьев, Р.М. Брызгалова, К.В. Каталымова, А.В. Фролова

THE STRATEGIC PLANNING OF LARGE-SCALE PROJECT IN TRANSPORT CONSTRUCTION

«Siberian state transport university»

«Construction trust No.12, branch Roszheldorstroj»

V.S. Vorobjev, R.M. Brizgalova, K.V. Katalimova, A.D. Frolova

The actuality of strategic planning of large-scale project in transport construction is proven. The organization plan of management structure in large-scale project is presented.

Обоснована актуальность стратегического планирования крупномасштабных проектов транспортного строительства, предложены организационные структуры управления крупномасштабными проектами.

К последним крупномасштабным проектам транспортного строительства относятся Байкало-Амурская и Амуро-Якутская железнодорожные магистрали (БАМ и АЯМ) [1].

Прогнозировалось, что размеры грузопотоков до 2000 г. будут определяться не столько развитием производительных сил тяготеющего к БАМу района, сколько объемом транзитных перевозок грузов.

Район тяготения Байкало-Амурской железнодорожной магистрали охватывает 21 административный район Иркутской, Читинской, Амурской областей, Бурятской и Якутской АССР и Хабаровского края протяженностью 2,5 тыс. км и шириной 500-600 км, общей площадью 1,5 млн. км². Эта огромная территория тяготеет к Транссибирской магистрали и связана с ней железнодорожными линиями (Усть-Кут, Тында, Ургал, Комсомольск-на-Амуре), автодорогой районного значения (Февральск), речным транспортом по Лене, Витиму, Зее, Амуру, по оз.Байкал.

В районе тяготения БАМа и АЯМа в перспективе должны быть созданы логистические грузообразующие центры [2].

Формирование этих центров потребует создания крупномасштабных проектов промышленного и гражданского строительства.

Вместе с тем, опыт реализации крупномасштабных проектов, в том числе программы «Модернизация транспортной системы России» на 2002-2010 годы, не дает оснований для оптимистичных прогнозов их выполнения. Одним, но, на наш взгляд, значимым фактором такого состояния является, с одной стороны, недостаточное применение методологии стратегического планирования, а с другой – его недостаточная научная обоснованность и проработанность применительно к проектам транспортного строительства.

Стратегическое планирование проекта представляет собой итеративный процесс принятия решений, включающий определение целей проекта, политики получения и использования ресурсов на его осуществление, потенциальных источников, обеспечивающих его стратегические позиции на рынке, доходность и долгосрочную концепцию обеспечения организационно-технологической, эксплуатационной, управленческой надежности и устойчивого развития. Стратегическое управление – это процесс управленческой деятельности по разработке и реализации стратегического плана инициации и реализации проекта в целом и составляющих его объектов стратегического управления (ОСУ). Цель стратегического планирования состоит в выработке альтернатив инвестирования проекта, обеспечивающих гарантированную эффективность с минимальными рисками. Цель тактического планирования – разработка конкретных мероприятий по достижению целей, обеспеченных ресурсами при ограничениях, заданных стратегическим планом. Оперативное планирование осуществляется в рамках установленного бюджета по фазам жизненного цикла проекта и направлено на разработку задания по основным технико-экономическим показателям: объемам, срокам, издержкам, производственным мощностям, носителям ответственности и др. Плановый горизонт для каждого проекта устанавливается индивидуально. Как правило, оперативное планирование в транспортном строительстве осуществляется на неделю (декаду), месяц, квартал; тактическое – на год; долгосрочное – на 2-3 года; стратегическое – на срок строительства транспортного объекта: железной или автомобильной дорог, включающих сооружение земляного полотна, тоннелей, мостов, водопропускных труб, верхнего строения пути, инфраструктуры, в том числе социальных объектов и т.д.

Нами приняты следующие направления стратегического планирования как составной части стратегического управления:

1 Проектный анализ. Он предполагает формирование состава задач, определение содержания разделов, выбор методов проектного анализа и назначение сроков выполнения.

2 Оценка эффективности инвестиционных проектов. Оценка выполняется по чистому дисконтированному доходу, индексу доходности, внутренней норме доходности, сроку окупаемости.

3 Анализ рисков проекта. Он осуществляется на основе классификации с использованием известных методов анализа рисков для разработки мер по их снижению.

4 Разработка бизнес-плана.

5 Формирование организационных форм управления проектом. При этом определяются участники проекта, функции руководителя проекта, осуществляется подбор команды управления проектом, формируется организационная структура аппарата управления проектами.

6 Формирование стратегий строительных организаций в соответствии с стратегией проекта.

7 Информационно-программное обеспечение проекта. В его состав входит создание логико-информационной модели, базы данных, пакетов программ, методических рекомендаций по их использованию.

Ниже в краткой форме излагаются подходы к решению 2 и 5-ой позиций стратегического планирования проекта.

Сценарии развития крупномасштабных проектов нового железнодорожного строительства и оценка эффективности инвестиций. В настоящее время разработана Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 года, содержащая ряд крупномасштабных проектов нового железнодорожного строительства. В нем выделены два варианта развития: минимальный и максимальный [3]. Реализация любого из вариантов дает основания рассчитывать на развитие транспортных сетей Сибири и, соответственно, устойчивый рост экономики. Вместе с тем «Стратегия» не содержит анализа сценариев развития инвестиционной деятельности и инвестиций по годам строительства.

Нами предложены три сценария развития сети для двух вариантов стратегических, грузообразующих и технологических дорог с описанием потоков инвестиций по годам строительства следующими зависимостями: по инновационному сценарию – логарифмическая функция; по инерционному – кубическая; по сценарию равномерного роста – линейная. Нами выполнена укрупненная предварительная оценка эффективности инвестиций по критериям доходности и срокам окупаемости проектов. Результаты расчета инвестиций в стратегические дороги и прогнозируемых доходов для инновационного сценария по минимальному варианту приведены на рисунке 1.

Инвестиции, млрд. руб.

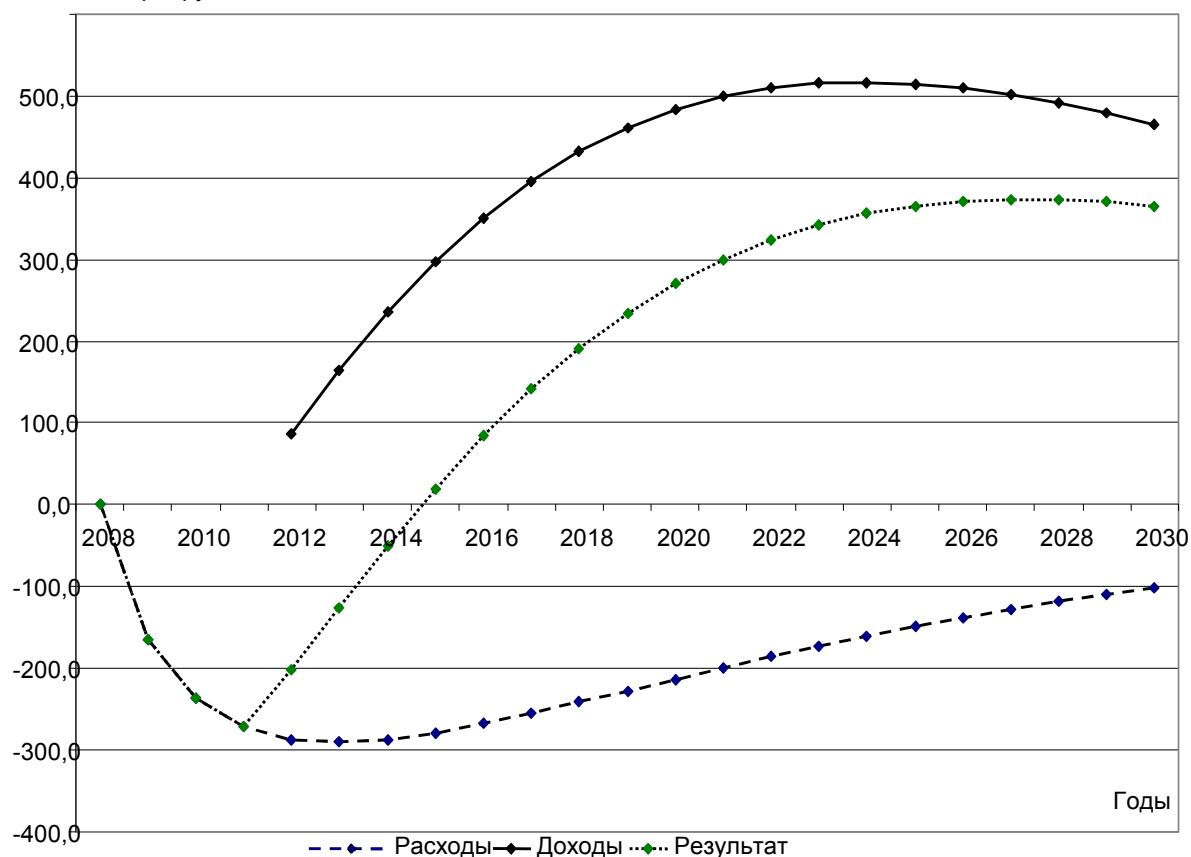


Рисунок 1 – Прогноз инвестиций и доходов от нового железнодорожного строительства

Анализ полученных результатов показывает, что при инновационном сценарии развития интенсивность инвестиций должна быть высокой до 2013-го года с последующим ее снижением. Это обеспечит их окупаемость уже между 2014 и 2015 годами и дальнейшую достаточно высокую интенсивность доходов.

Инерционный сценарий позволяет отнести инвестиционный рост на период после 2013 года со сроком окупаемости инвестиций к 2019 году и ростом доходов в 5 раз ниже ин-

новационного развития.

Сценарий равномерного роста инвестиций позволит окупить их в 2015 году. Доходы при его реализации в три раза выше доходов инерционного сценария и в 1,66 раза ниже доходов инновационного сценария. Кризисные явления в экономике вероятно сдвинут сроки реализации отдельных позиций Стратегии.

Организационные формы управления крупномасштабным проектом как направление стратегического планирования. В реализации крупномасштабных проектов транспортного строительства принимают участие большое количество организаций, составляющих транспортный строительный комплекс. Его формирование должно предусматривать иные подходы в соответствии с стратегическим планом реализации проекта.

Строительные предприятия могут выступать генеральным подрядчиком, специализированным подрядчиком, производящим определенный круг работ, и подрядчиком узкой специализации, выполняющим какой-нибудь один вид работ.

Наиболее крупные строительные организации представляют собой вертикально и горизонтально интегрированные структуры, состоящие как из юридических лиц различной организационно-правовой формы, связанных с материнской компанией отношением собственности, так и полуавтономных подразделений, не являющихся юридическими лицами.

Предприятия вертикально интегрированной структуры отличаются методами выполнения контрактов и финансовой организацией их деятельности.

Размер предприятия определяется характером работ, условиями их выполнения, системой управления. После определения параметров процесса строительства рассчитывается его потребность в основных и обеспечивающих ресурсах, то есть разрабатывается программа обеспечения эффективного функционирования процесса. После этого может быть решена задача определения организационных форм управления всеми производственными и вспомогательными (обеспечивающими) процессами. Определяющими здесь являются: уровень специализации исполнителей; мощность подразделений; количество уровней в иерархии управления; организационная структура.

Нами предложен ряд организационных форм строительных организаций для реализации проектов транспортного строительства. Одна из них в качестве примера приведена на рисунке 2.

Этот вид организационной формы рекомендован нами при организации малых проектов в составе крупномасштабного проекта.

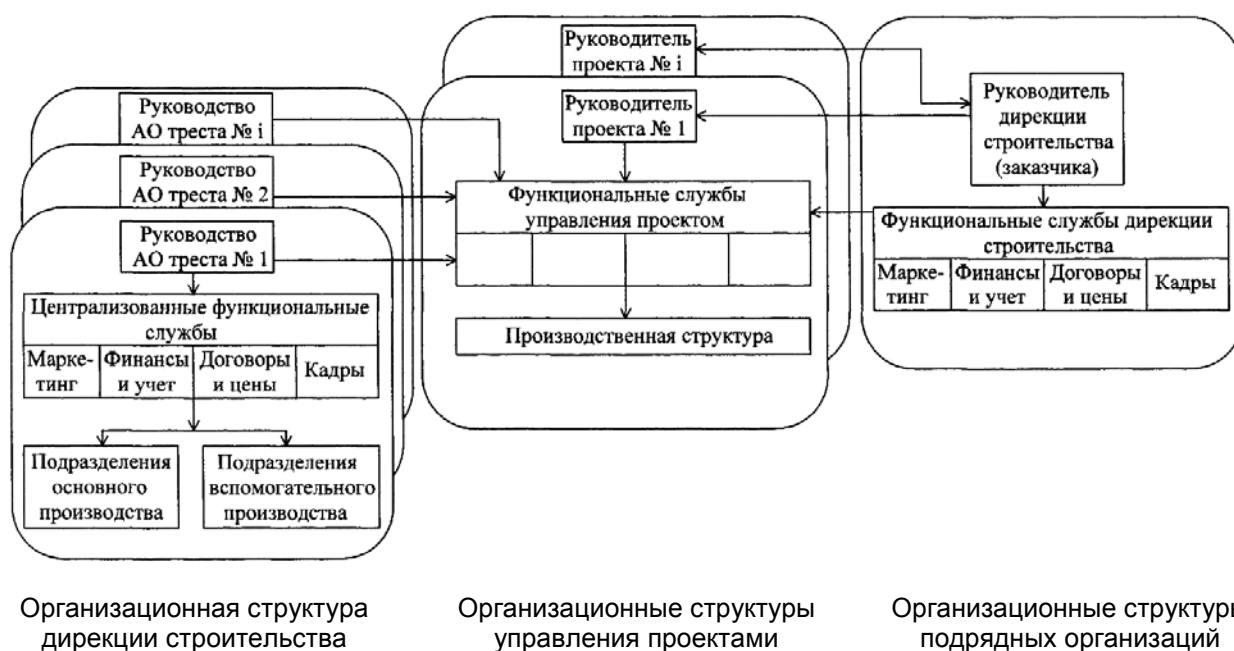


Рисунок 2 – Схема организационного взаимодействия на строительстве новых железных дорог

Проекты по видам работ транспортного строительства: рубка просеки; водопропускные трубы; малые мосты; участки земляного полотна: притрассовой автодороги, железной дороги; участки верхнего строения пути; объекты производственной и социальной инфраструктуры.

Предложены также следующие варианты организационных структур взаимоотношений участников крупномасштабного проекта: организационная форма взаимоотношений заказчика, управляющей компании и подрядчиков; организационная форма управления проектом, в которой функции управления реализуются управляющей фирмой, а выполнение всех работ обеспечивают генподрядчики; организационная форма взаимоотношений участников строительства при наличии управляющей компании; организационная форма взаимоотношений участников, транспортного строительства: дирекции, корпоративной структуры, трестов, организаций управления проектами; организационное взаимодействие «классических» структур. Их необходимо оценивать при разработке стратегического плана применительно к каждому этапу жизненного цикла проекта на стадии строительства.

Увязка стратегии крупномасштабного проекта с стратегией строительной организации в ходе стратегического планирования. Каждая строительная организация, участвующая в реализации крупномасштабного проекта имеет свой жизненный цикл, отличный от цикла проекта и также должна иметь стратегический план развития, как в рамках проекта, так и за его пределами.

Нами предлагается представление жизненного цикла деятельности строительных организаций, реализующих крупномасштабный проект транспортного строительства, в виде разработки и реализации последовательных стратегических планов. Каждый из них предусматривает рост доходов на определенной фазе реализации проекта и их падение на стадии изменения состава и структуры работ. Для эффективной деятельности строительной организации необходим фазовый переход к новой стратегии развития. Для решения этих проблем предлагается подход, при котором формированием единой корпоративной структуры, ориентированной на единый конечный результат, достигается управляемость взаимодействия участников и на этой основе повышается эффективность стратегического планирования развития строительных организаций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Ч.1. Изыскания и проектирование / под ред. Е.В. Басина. -М., 1990. -347 с.

2 Воробьев, В.С. Формирование логистических систем транспортного строительного комплекса в районах индустриального освоения / В.С. Воробьев. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2003. -323 с.

3 Стратегия развития железнодорожного транспорта до 2030 г. -М., 2008. -140 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: стратегическое планирование транспортного строительства

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

Брызгалова Роксана Маратовна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

Катальимова Ксения Валерьевна, начальник отдела правовой и кадровой работы СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

Фролова Анастасия Валерьевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

663003, г. Новосибирск, ул. Саратовская, 13, СМТ-12, филиал ОАО «Росжелдорстрой»

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В СМЕШАННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-ВОДНОМ СООБЩЕНИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Ю. Астахова

METHODOLOGICAL PRINCIPLES OF A TECHNOLOGIES RATIONAL SUBSTANTIATION AND ORGANIZATION OF CARGOES TRANSPORTATIONS IN COMBINED RAILWAY-WATER TRANSPORTATION

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.Yu. Astahova

Methodological principles of a technologies rational substantiation and organization of cargoes transportations in combined railway-water transportation are considered.

Рассматриваются методологические принципы обоснования рациональной технологии и организации перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении.

Значительная часть грузов, перевозимых речным транспортом в Западной Сибири, осваивается в смешанном железнодорожно-водном сообщении, а перевозки в районы Крайнего Севера в смешанном сообщении осуществляются практически в полном объеме. Поскольку на стоимость транспортировки грузов приходится одна треть от конечной стоимости продукта, снижение транспортной составляющей является одним из важных резервов экономики ресурсов. Особенно это актуально для Сибири, где затраты на транспорт высоки и обусловлены географической удаленностью Западной Сибири от густонаселенной и более развитой европейской части России и промышленно развитых стран Европы и Азиатско-Тихоокеанского региона.

Таким образом, возникает проблема обоснования рациональной технологии и организации перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении.

Наиболее эффективная методология обоснования базируется на следующих подходах: системном, логистическом, на исследовании операций и прогностики, а также с использованием статистических методов и математических методов моделирования.

Перевозка грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении с позиций системного подхода является сложной, динамичной, многоцелевой, изменяющейся во времени и пространстве, вероятностной системой, состоящей из взаимосвязанных элементов (подсистем). Изучение свойств системы позволяет комплексно решать проблему обоснования рациональной организации перевозок грузов в смешанном сообщении.

Цель функционирования системы: своевременная, сохраняющая, ритмичная и надежная поставка грузов с минимальными затратами ресурсов.

В системном подходе организация смешанных перевозок рассматривает участников перевозочного процесса как систему, имеющую единую цель и нормативы логистического обслуживания.

Подход к объектам исследования как системам – одна из главных особенностей логистики. Максимальный эффект можно получить только в случае, когда материальные потоки оптимизируются на всем протяжении от первичного источника сырья вплоть до конечного потребителя, а не в рамках отдельного предприятия или подразделения. При этом все звенья логистической цепи должны работать как единый слаженный механизм. Поэтому все звенья логистической цепочки необходимо рассматривать как целостную систему, чтобы согласовать экономические интересы отдельных ее элементов, технические вопросы, технологические процессы и т.д.

Таким образом, смешанную перевозку можно рассматривать как эмерджентную систему, в которой благодаря системному (эмерджентному) эффекту результат деятельности системы оказывается выше, чем сумма отдельных (частных) результатов.

Исходя из принципов системного подхода, смешанная перевозка является системой, которая состоит из элементов (подсистем): сеть путей сообщения, подвижной состав, складское хозяйство, перегрузочные машины и оборудование, рейды и их оборудование (рисунок 1). Каждая из этих подсистем состоит из ещё более мелких элементов.



Рисунок 1 – Схема взаимодействия элементов системы смешанная перевозка

Решение проблемы обоснования рациональной технологии и организации перевозок грузов в смешанном сообщении осуществляется путем комплексного обоснования и системности исследования. Исследование начинается с задачи более высокого порядка, получают ее решение в общем виде, далее уточняют ее решение в деталях, затем реализуется задача более низкого порядка. Решение проблемы заканчивается, когда система полностью соответствует разработанным требованиям (рисунок 2).

Исследование проблемы начинается с определения основных направлений перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении в региональной транспортной системе. На этой основе прогнозируются структура и объемы перевозок грузов в смешанном сообщении. В практике моделирования и прогнозирования объема перевозок грузов самым

распространенным и дающим хорошие результаты сглаживания уравнений временных рядов динамики является метод наименьших квадратов.



Рисунок 2 – Логическая последовательность решения задач обоснования, рациональной технологии и организации перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении

Задача разработки альтернативных вариантов технологии и организации перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении определяется множеством технических средств, участвующих в перегрузочном и перевозочном процессах, а также логистических технологий, призванных оптимизировать транспортный процесс. Так, при организации смешанных перевозок возможны прямой вариант перевалки груза, перегрузка груза через склад, использование различных типов судов и перегрузочных средств.

Оптимизация транспортного процесса при перевозке грузов в смешанном сообщении осуществляется с использованием методов математического моделирования. Многообразие факторов, воздействующих на транспортный процесс, делает систему смешанных перевозок динамичной и вероятностной, не полностью формально определяемой, имеющей разветвленную связь с грузоотправителями и грузополучателями. Поэтому задача оптимизации транспортного процесса при перевозке грузов в смешанном сообщении не поддается аналитическому решению. В таких случаях используют методы имитационного моделирования, которые с развитием электронно-вычислительной техники получили широкое распространение в научных исследованиях и в решении практических задач. Имитационное моделирование системы доставки грузов позволяет заранее выявить условия возникновения неблагоприятных ситуаций, попытаться оптимизировать параметры системы и более точно оценить источники эффекта.

Нормативы обслуживания смешанной перевозки (количество перевозок, период осуществления перевозок, интенсивность поступления грузов, размер поставок, число поставок, частота, интервал поставок) следует рассчитывать с учетом неравномерности материальных и транспортных потоков, неопределенности ряда параметров, динамической и комплексной зависимости между ними. В наибольшей мере этому также соответствует метод имитационного моделирования, суть которого состоит в построении модели процесса сме-

шанной перевозки (поступления и грузового обслуживания судов, движения с грузом и порожнем, перевалки груза) по методу Монте-Карло.

На шестом этапе формируются транспортно-логистические системы доставки грузов на основе решения предыдущих задач. Оценка эффективности организации перевозок грузов в смешанном сообщении осуществляется по показателю полных экономических затрат, который учитывает прохождение груза через все транспортные операции.

Таким образом, решается проблема обоснования технологии и организации перевозок грузов в смешанном железнодорожно-водном сообщении на основе системного и логистического подходов с разработкой механизма взаимодействия участников перевозочного процесса.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Матвеев, Ю.Н. Основы теории систем и системного анализа. Ч.1: учеб. пособие / Ю.Н. Матвеев. -Тверь: ТГТУ, 2007. -100 с.

2 Никифоров, В.С. Мультимодальные перевозки и транспортная логистика: учеб. пособие / В.С. Никифоров. -М.: ТрансЛит, 2007. -272 с.

3 Рихтер, К.-Ю. Статистические методы в транспортных исследованиях: пер. с нем. / К.-Ю. Рихтер, П. Фишер, Г. Шнейдер. -М.: Транспорт, 1982. -304 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: смешанные перевозки, технология перевозки, организация перевозки, системный анализ, логистика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Астахова Валентина Юрьевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

«Бийский технологический институт», филиал ГОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Т.В. Рубцова, Л.З. Муханова

INTERNAL CONTROL SYSTEM FORMATION IN INDUSTRIAL ENTERPRISES

«Biysk technological institute», branch «Polsunov state technical university of Altay»
T.V. Rubtsova, L.Z. Mukhanova

The efficiency of the work of modern industrial enterprises greatly depends on the level of internal control system, which includes business accounting system, control medium and control instruments. The special functional structure is recommended in this case. It comprises the development of normative documents, regulating the order of control actions, making the documents after the control procedures, as well as, solving the problems of correcting the faults.

Эффективность деятельности современных промышленных предприятий в значительной степени зависит от того, насколько сформирована и действенна система внутреннего контроля, включающая систему бухгалтерского учета, контрольную среду и средства контроля. Рекомендуется структурно-функциональная форма, предусматривающая разработку комплекса нормативных документов в организации, регламентирующих порядок взаимодействия подразделений в области проведения контрольных мероприятий, составления документации по их результатам, а так же подготовки и реализации решений по устранению выявленных недостатков.

Эффективность деятельности современных промышленных предприятий в условиях жесткой конкуренции, рисков и неопределенности в значительной степени зависит от того, насколько сформирована и действенна система внутреннего контроля (СВК). Вопросам, связанным с развитием и формированием СВК в крупных коммерческих организациях (корпорациях), посвящено значительное количество научных трудов [1-4]. В тоже время остаются непроработанными вопросы организации внутреннего контроля на предприятиях среднего и малого бизнеса, оперативной оценки функционирования СВК с позиций эффективной системы управления предприятием. Целью настоящего исследования является разработка методических подходов к организации внутреннего контроля на промышленных предприятиях Алтайского края, относящихся по объемам производства и численности персонала в основном к уровню среднего бизнеса.

В российской практике управления промышленными предприятиями применяются следующие виды внутреннего финансово-экономического контроля [2]:

– внутрихозяйственный управленческий контроль – основной и обязательный вид кон-

троля над выполнением управленческих решений, обеспечивающих функционирование предприятия в соответствии с выработанной стратегией развития;

- внутривозрастной бухгалтерский контроль – обязательный вид контроля, который осуществляет регистрацию хозяйственных операций и инвентаризацию товарно-материальных и других ценностей, анализ учетной и отчетной информации, а также проводит совместно с другими функциональными службами ревизии и тематические проверки в отдельных внутривозрастных подразделениях;

- внутренний аудиторский контроль – независимый контроль над финансово-хозяйственной деятельностью подразделений и служб хозяйствующего субъекта. Внутренний аудит является корпоративной формой финансового контроля. Используется на предприятиях с усложненной организационной структурой и большим количеством филиалов и подразделений.

- внутривозрастной ревизионный контроль – контроль посредством проведения плановых и внеплановых ревизий. Используется в случае, когда руководство предприятия осознает необходимость осуществления оперативного контроля над финансово-хозяйственной деятельностью предприятия.

В общем виде СВК на промышленном предприятии помимо системы бухгалтерского учета (БУ) включает контрольную среду и средства контроля. Все составляющие тесно взаимосвязаны между собой. Контрольная среда – это общее отношение руководства или собственников к необходимости функционирования системы контроля в организации. От руководства организации зависит, чтобы СВК отвечала специфике деятельности организации, функционировала регулярно и эффективно. Средства контроля – это политика и процедуры, организованные для реализации задач контроля.

Оценка контрольной среды должна включать следующие наиболее важные элементы: оценку организационной структуры, стиля управления, распределения ответственности и полномочий, а также кадровой политики. Для эффективного функционирования контрольной среды необходимо применение таких средств контроля, которые бы обеспечили выполнение всех операций с одобрения руководства и фиксирование хозяйственных операций в правильных суммах и в правильных периодах. Поэтому средства контроля напрямую связаны с организацией БУ на предприятии, который является непрерывным, универсальным, системным и строго документальным видом контроля с использованием типовых унифицированных форм.

Организация БУ на предприятии может считаться эффективной, если в ходе регистрации хозяйственных операций выполняются следующие требования:

- операции в учете отражаются в правильных суммах и в соответствующем временном периоде;

- операции в учете отражены в соответствии с действующими нормативными положениями и в соответствии с учетной политикой предприятия;

- зафиксированы детали операций, имеющих существенное значение для учета и отчетности;

- ограничены возможности проявлений бесхозяйственности и злоупотреблений.

Оценка СВК предприятия выполняется в начальный период проведения внешней аудиторской проверки и включает следующие этапы:

- общее ознакомление с СВК исследуемого предприятия;

- первичную оценку надежности СВК предприятия;

- подтверждение достоверности оценки внутреннего контроля.

Следует отметить, что оценку СВК, как правило, осуществляют только внешние контролеры (аудиторы) и практически раз в год. Цель указанной оценки – планирование масштабов аудиторской проверки.

Ознакомление с СВК предприятия внешние аудиторы осуществляют при помощи самостоятельно разработанных тестов, которые дают им возможность составить общее представление об уровне организации СВК.

Первичная оценка СВК осуществляется в процессе проведения проверки по всем объектам бухгалтерского, управленческого и оперативного учета.

Подтверждением достоверности оценки внутреннего контроля служат выводы, которые делают аудиторы по результатам проведенного анализа.

Первичная надежность СВК устанавливается при помощи следующих процедур:

- проверка на предмет надежности средств контроля бухгалтерской и хозяйственной

документации организации;

- оценка периодов, деятельность в которых имела особенности или существенно отличалась по сравнению с деятельностью, типичной для отчетного периода в целом;
- тестирование средств контроля по всем объектам управления и учета.

Эффективность управления предприятием во многом зависит от надежности средств контроля бухгалтерской и хозяйственной документации. Можно избежать многих негативных последствий в организации управления, если система бухгалтерского учета отвечает требованиям существующего законодательства.

Оценка системы БУ, как составляющей СВК проведена на нескольких предприятиях Алтайского края по наиболее проблемным объектам учета, например, материально-производственные запасы (МПЗ), расходы, кадровое делопроизводство. Выявленные нарушения по такому объекту, как МПЗ, а также предложения по их исправлению представлены в таблице.

Таблица – Нарушения при учете и движении МПЗ

Объект проверки	Выявленные нарушения	Нормативно-законодательная база	Предложения по исправлению
Первичные документы, подтверждающие выпуск готовой продукции и документы по движению МПЗ	Отсутствуют первичные документы, подтверждающие выпуск готовой продукции	Закон 129-ФЗ «О бухгалтерском учете»	В альбомах унифицированных форм не предусмотрены первичные документы по выпуску готовой продукции. Предприятиям рекомендуется разработать формы с учетом технологических особенностей производства
	При поступлении и перемещении МПЗ оформляются фактуры, форма которых не соответствует законодательству	Постановлением Госкомстата РФ от 30.10.1997 г. № 71а	Прием и оприходование МПЗ оформляется составлением приходных ордеров, или проставлением на документе поставщика штампа, в оттиске которого содержатся те же реквизиты, что в приходном ордере
Регистры БУ, данные, отраженные на счетах БУ в программе 1С	Данные БУ не подтверждаются данными, отраженными в регистрах БУ	Закон 129-ФЗ «О бухгалтерском учете»	Для контроля над сохранностью материальных ценностей необходимо БУ материальных ресурсов осуществлять в соответствии с требованиями законодательства
	Несвоевременное отражение в БУ фактов списания материальных ценностей		Для обеспечения сохранности материальных ценностей рекомендуется разработать должностные инструкции для материально-ответственных лиц
	Отклонения фактического расхода сырья и материалов от нормативного расхода	Ст. 252 НК РФ	Необходимо документально обосновать отклонения фактического расхода от нормативного расхода сырья и материалов
Документы, отражающие нормы выхода продукции	Отсутствуют документы, подтверждающие нормы выхода продукции	Закон 129-ФЗ «О бухгалтерском учете»	Необходимо разработать и утвердить единые нормы выхода продукции

Исследование СВК на промышленных предприятиях на примере МПЗ, выявило серьезные недостатки в следующих средствах внутривозвратного контроля:

- документообороте (оформлении первичных документов, своевременном отражении хозяйственных операций в документации);
- текущем мониторинге показателей хозяйственной деятельности (фиксировании отклонений параметров от установленных требований и нормативов, а также своевременном выявлении причин этих отклонений).

На предприятиях необходимо улучшение среды контроля – понимания, осведомленности, и практических действий руководства, направленных на установление и поддержание системы внутреннего контроля. Для формирования эффективной СВК рекомендуется усилить управленческие аспекты контроля, в частности, разработать и внедрить должностные инструкции для материально-ответственных лиц с детальным отражением в них контрольных функций.

Руководство организации несет полную ответственность за разработку и фактическое воплощение СВК. От него зависит, чтобы СВК отвечала размерам и специфике деятельности организации, функционировала регулярно и эффективно. Наиболее целесообразной формой внутреннего контроля для промышленных предприятий среднего бизнеса, которые функционируют в Алтайском крае, является, по нашему мнению, структурно-функциональная форма.

Структурно-функциональная форма – это осуществление контроля как неременной должностной обязанности всех ответственных лиц (финансово-экономический, бухгалтерский, юридический, кадровый, производственный и др.). Структурно-функциональная форма предусматривает разработку комплекса нормативных документов (положений, инструкций, приказов) в организации, регламентирующих порядок взаимодействия подразделений в области проведения контрольных мероприятий, составления документации по их результатам, а также подготовки решений по устранению выявленных недостатков. Эта форма не требует от организации серьезных дополнительных затрат на ее создание и функционирование.

При использовании такой формы контроля предприятиям рекомендуется по возможности ввести должность бухгалтера-контролера (ревизора, аудитора), который будет выполнять функции по поддержанию системы контроля, а также осуществлять периодические проверки сфер хозяйственной деятельности, подверженных наибольшему риску и возможности злоупотреблений.

Организация внутреннего контроля на предприятиях – это сложный процесс, включающий следующие этапы:

- критический анализ и сопоставление прежних условий хозяйствования, целей функционирования организации, принятого ранее курса действий, стратегии и тактики с видами деятельности, размерами;

- разработка и документальное закрепление новой (соответствующей изменившимся условиям хозяйствования) деловой концепции, а также комплекса мероприятий, способных привести эту концепцию к развитию организации. Такими документами должны быть положения о финансовой, производственно-технологической, инновационной, снабженческой, сбытовой, инвестиционной, учетной и кадровой политике;

- корректировка существующей структуры управления. Необходимо разработать положение об организационной структуре, в котором должны быть описаны все организационные звенья с указанием административной и функциональной подчиненности, направления их деятельности, функции, которые они выполняют, установлен регламент их взаимоотношений. То же самое относится и к положениям о различных структурных подразделениях (отделах, бюро, группах и т.д.). Необходимо разработать (уточнить) план документации и документооборота, штатное расписание, должностные инструкции с указанием прав, обязанностей и ответственности;

- разработка формальных типовых процедур контроля конкретных финансовых и хозяйственных операций. Это позволит упорядочить взаимоотношения работников по поводу контроля финансово-хозяйственной деятельности, эффективно управлять ресурсами, оценивать уровень достоверности (качества) информации для принятия управленческих решений;

- организация отдела внутреннего контроля (аудита или другого специализированного контрольного подразделения) или определение должностных лиц (лица), ответственных за функционирование системы контроля.

Таким образом, формирование СВК позволит:

- обеспечить функционирование, устойчивость и максимальное (согласно установленным целям) развитие организации в условиях конкуренции;

- сохранить и эффективно использовать ресурсы и возможности своевременно выявлять и минимизировать коммерческие, финансовые и внутрифирменные риски в управлении организацией;

- сформировать адекватную современным перманентно меняющимся условиям хозяйствования систему информационного обеспечения всех уровней управления, позволяющую своевременно адаптировать функционирование организации к изменениям во внутренней и внешней среде.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Румянцев, А.В. Финансовый контроль: курс лекций / А.В. Румянцев. -М.: Дело и сервис,

2003. -144 с.

2 Сарафанова, Е.О. Система внутреннего контроля / Е.О. Сарафанова // Новое в бух. учете и отчетности. -2003. -№15. -С. 10-17.

3 Соколов, Б.Н. Внутренний контроль в коммерческих организациях / Б.Н. Соколов // Аудитор. ведомости. -2006. -№5. -С. 3-6.

4 Макоев, О.С. Контроль и ревизия: учеб. пособие / О.С. Макоев; под ред. В.И. Подольского. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007. -256 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *система внутреннего контроля, контрольная среда, средства контроля, структурно-функциональная форма*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Рубцова Татьяна Владимировна, доцент «Бийский ТИ», филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»
Муханова Людмила Захаровна, канд. техн. наук, доцент «Бийский ТИ», филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *659305, г. Бийск, ул. Трофимова, 27, Бийский ТИ, филиал ГОУ ВПО «Алтайский ГТУ»*

ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА

ОАО «Российские железные дороги»

П.Н. Рубежанский

DEVELOPMENT OF THE MECHANISM OF LABOUR EFFECTIVENESS ESTIMATION

«Russian Railways»

P.N. Rubezhanskiy

The author presents his attitude that is based on the long-term research of the personnel's abilities to aim their basic and professional skills at the production efficiency increase that provides considerable growth of productivity and volume of production, including production costs reduction. In the market operation conditions the transport industry is to be provided with high quality labour force following labour intensification and introduction of new labour payment systems.

Представлена авторская позиция на основе многолетних исследований способностей персонала направить свои умения и профессиональные навыки на эффективность производства, которая выражается в существенном росте производительности труда и объема производства, в снижении издержек производства. В рыночных условиях функционирования транспорт должен обеспечиваться высококачественным рабочей силой при интенсификации труда и новых форм его оплаты.

Как со стратегической, так и тактической точек зрения, качество и количество конечного результата деятельности компании «Российские Железные Дороги» непосредственно зависят от профессиональных навыков, личных интересов и трудовых усилий наемных работников. Совершенно очевидно, что более высокооплачиваемые работники могут вносить и более определяющий вклад в деятельность компании, но продуктивность труда всех наемных работников остается первостепенно значимым фактором.

Способность руководителя не упускать из виду то, что психологическое и эмоциональное состояние наемного работника оказывают влияние на его поведение в условиях производства, может оказаться весьма ценным качеством организационных стратегов и тактиков, желающих разобраться в существе взаимосвязи между удовлетворенностью заработной платой, удовлетворенностью заданием и удовлетворенностью работника к деятельности самой компании.

Достижение конечной цели и выполнение каждой задачи требует профессиональные навыки и особые знания работников, но обеспечение выполнимости задания в условиях многообразия факторов со стороны внешнего окружения, могут дополнительно предъявлять работнику различного рода требования психологического, интеллектуального и эмоционального характера.

Разрабатывая компенсационные системы специалисты ОАО «РЖД» должны понимать, что работники компании принимают решения о приемлемой заработной плате, сравнивая себя с «другими» работниками. К числу этих «других» может относиться например: – работающий на соседнем рабочем месте и выполняющий похожее, если не точно такое же, задание, наемные работники структурного подразделения организации, выполняющие совсем другие виды деятельности, и даже рабочие других фирм, выполняющие похожую или совершенно иную работу за похожие или непохожие размеры заработной платы.

Эти сравнения определенным образом взвешиваются каждым рабочим человеком, а результаты сравнений, в свою очередь, влияют на решения наемных работников, оставить работу или работать лучше. Менеджеры и специалисты по управлению персоналом должны делать все возможное, чтобы повлиять на благоприятность решений, принимаемых наем-

ными работниками по результатам своих собственных сравнений.

Условия, позволяющие справляться с производственным заданием работнику или как говорил Ф.Тейлор «поденным уроком», должны в первую очередь убеждать работника в том, что «хорошо выполненное задание» влечет за собой наличие достойной компенсации за выполнение задания и является своего рода мостиком на пути к появлению удовлетворенности трудом. Хотя удовлетворенность трудом, заработной платой и заданием — вещи совершенно разные, взаимодействующие и влияющие друг на друга.

Позитивное видение одного процесса может улучшить видение другого или негативное видение одного может разрушать позитивное видение другого, несмотря на то, что удовлетворенность заданием не является главным элементом ответственности специалиста по управлению системой организации и оплаты труда. Его стратегической задачей является необходимость иметь четкое представление об удовлетворенности наемных работников выполняемыми заданиями и работать в направлении ее повышения.

Возмущение и стресс, возникающие у наемных работников из-за неудовлетворенности заработной платой и выполняемыми заданиями, во многих случаях могут быть минимизированы гарантией занятости. Разобравшись в том, что относится к разряду положительного в разного рода личных решениях, можно найти возможность ограничить степень недовольства наемного работника, которое он ощущает в каком-то конкретном отношении. Осмысление, понимание и принятие философии и стратегии компании — это и есть тот долгий путь, на котором происходит повышение удовлетворенности и преданности компании.

Чтобы сконструировать, разработать и внедрить систему компенсаций, которая ведет к повышению удовлетворенности наемных работников трудом и заработной платой, выполняемыми заданиями и организацией труда, важно понимать смысловое значение термина «удовлетворенность» с точки зрения теорий мотивации и, несомненно, перспектив занятости работника.

Что представляет собой понятие «удовлетворенность»?

Во-первых, удовлетворенность — это процесс, который означает удовлетворение некоего интереса или наслаждение работника обладать чем-то достигнутым. Однако с точки зрения перспектив занятости это означает выполнение определенных обязательств. Понятие «удовлетворенность» призвано подчеркнуть, что в процесс удовлетворенности вовлечены по крайней мере две стороны: наемный работник и работодатель. Следовательно, чтобы быть полезной наемному работнику модель «удовлетворенности» или ее понятие должно обладать строгостью и логичностью, иметь отношение именно к тому производству, в котором выполняется соответствующая работа.

Во-вторых, то, что удовлетворяет одного работника, может вызывать высокую степень неудовлетворенности другого. Значит, еще более определяющим является то обстоятельство, что данная модель «удовлетворенности» должна отражать динамичность процесса удовлетворенности: то, что в состоянии дать удовлетворение сегодня, может вызвать неудовлетворенность завтра.

В третьих — «удовлетворенность» компенсационной системой немыслима без определенной взаимности, что означает извлечения какого-то личного, эгоистического интереса работника от своего рабочего места.

В четвертых — при приеме на работу необходимо оговаривать в трудовом договоре условия, которые должны как минимум доводить до сведения наемного работника следующие две цели:

1 Организация ожидает от вас ...

2 Размер оплаты труда и компенсаций, который мы предлагаем вам в обмен на ваши профессионально-трудовые навыки и ваш интерес к деятельности нашей компании.

Один из базисных подходов к распределению компенсаций (вознаграждений за труд) акцентирует внимание на уровне заданий в организационной структуре. Чем выше уровень задания, тем больше ответственность руководителя соответствующего уровня управления. Если в компании или ее филиале 1000 и больше работников, в ней создается определенная иерархическая структура управления, которая является общепринятой и для других компаний, нанимающих сотни и тысячи людей. Эта структура состоит: из совета директоров, высшего менеджмента, оперативных менеджеров различных уровней, профессиональных специалистов и администраторов и, наконец — наемных работников. На рисунке 1 показана базисная организационная иерархия управления системой трудовых отношений компании ОАО «РЖД».

Совет директоров систему управления трудом строит на следующих принципах: их которых наиболее важными являются:

1 Установление такой политики по ключевым внутренним и внешним операциям, которая позволяет эффективно использовать ресурсы организации, не вступая в противоречие с общественными и правовыми нормами труда.

2 Обеспечение гарантии эффективной структуры и правильного подбора штата старшего и топ-менеджмента.

3 Четкое определение миссии организации и предпочтительной стратегической и тактической практики выполнения этой миссии.

4 Рассмотрение деятельности топ-менеджмента с целью обеспечения уверенности в том, что его действия соотносятся с установленной политикой и планами наилучшего использования трудовых ресурсов в достижении желаемых результатов.



Рисунок 1 – Структура управления трудом

Чтобы реализовать эти основные принципы управления трудовыми отношениями от членов совета требуются более широкие знания относящихся к бизнесу компании и нести все большую ответственность и финансовую подотчетность за то, что делают, за то, что не смогли сделать и даже за то, что делать не привыкли. Но за свои услуги они также ожидают соответствующей компенсации.

В последние годы компенсационный пакет членов многих советов в значительной мере повышался посредством его дополнения в рамках долгосрочных поощрительных программ. Двумя главными компонентами долгосрочного поощрительного плана являются:

- 1) планы неквалифицированных фондовых опционов;
- 2) планы ограниченных долей фондов. Фактический размер и сумма долгосрочных поощрений, варьируются соответственно корпоративной производительности труда.

При определении поощрительных вознаграждений используются следующие измерители корпоративной производительности:

- 1) поступления на акцию;
- 2) чистые прибыли после обложения налогами;
- 3) прибыль на акционерный капитал;
- 4) доходы на активы;
- 5) годовой объем продаж или годовой доход.

В железнодорожном бизнесе (компания «РЖД») по данным самой компании (рисунок 2) занято примерно 1 млн. 312 тыс. наемных работников. При численности рабочей силы примерно 852 тыс. человек группа топ и старших менеджеров (управляющих) составляет примерно 9,6% от общей численности работников.

Штатный руководитель наивысшего ранга, принадлежащий к этой группе, может быть главным управляющим или президентом, который несет ответственность за эффективную деятельность железнодорожного транспорта. Обычно в организациях используется какая-то одна из двух названных наивысших должностей. В ОАО «РЖД» главный управляющий (ме-

неджер) – это президент компании. Непосредственно работу ОАО «РЖД» возглавляют и обеспечивают 3,4 тыс. первых руководителей филиалов и структурных подразделений. 40,1 тыс. руководителей среднего звена и 26,6 тыс. мастеров производственных участков и цехов. По возрасту руководители и специалисты распределяются: до 30 лет – 58,6 тыс. человек (18,6%), старше 50 лет – 74,4 тыс. человек (23,6%), средний возраст специалистов – 42 года.

Поскольку это средняя статистическая оценка, фактическое число управляющих в конкретной организации может быть несколько больше или меньше. Фактический размер суммарной компенсации результативности работников связан с размером организации. Этот детерминант или индикатор размера меняется в зависимости от принадлежности организации к той или иной индустрии.

Умение извлекать громадные преимущества с помощью компенсационной политики компании состоит в разделении труда и специализации рабочих профессий среди индивидов социальных групп помогает человеку доминировать над всеми другими формами жизни. Базис процесса денежного (компенсационного) обмена между работодателем и наемными работниками составляют разделение труда, производительность в разрезе конкретных видов деятельности и обеспечение вознаграждений тем, кто вносят свой вклад в конечный результат (рисунок 3). Качество и величина вознаграждения (компенсации) наемному работнику за его вклад, ценность которого измерена и оценена работодателем, обычно отличается от стоимости этого вклада в видении самого наемного работника.

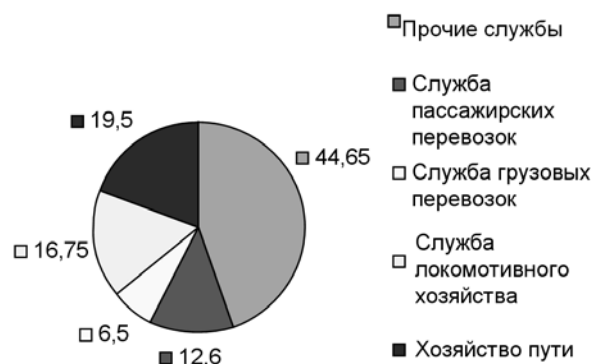


Рисунок 2 – Численность работников ОАО «РЖД» по ведущим службам



Рисунок 1 – Фрагмент организации механизма компенсационных измерений

Знаменитый французский социолог Эмиль Дюркгейм видел важность разделения труда, когда утверждал, что характер ответов на вопросы, что личность собой представляет и кто эта личность есть, отражает род работы, которую данное лицо выполняет. Он далее заявлял, что принятие на себя выполнения какого-то задания является исключительно важным актом, позволяющим индивидам интегрироваться в обществе и самоопределяться соответственно занимаемому положению. Удовлетворение выполненной работой приходит от ощу-

щения личных достижений и ощущения себя членом какой-то профессионально-квалификационной группы. Однако большинство людей не в силах найти мир внутри себя, если они не видят свои рабочие взаимоотношения законными и справедливыми.

Железнодорожному транспорту и его структурным подразделениям необходимы определенная форма заранее установленных процедур, специализация видов деятельности и централизованное направление усилий, что, в свою очередь, требует управления для улучшения кооперации, поскольку она способствует сотрудничеству и повышению эффективности ее деятельности, сводит к минимуму возможность возникновения конфликтов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Апенько, С.А. Эффективность системы оценки персонала / С.А. Апенько // Человек и труд. -2003. -№10.
 - 2 Балабанов, И.Т. Инновационный менеджмент / И.Т. Балабанов. -СПб.: Питер, 2000. - 14 с.
 - 3 Бахматова, Т.Г. Оценка конкурентоспособности работников с позиций обладания ресурсным потенциалом трудовой мобильности / Т.Г. Бахматова // Проблемы повышения конкурентоспособности трудовых ресурсов: материалы межрегион. науч.-практ. конф. -Бийск, 2002. -С. 58-59.
 - 4 Давыдов, А.В. Мотивация и оплата труда в рыночной экономике / А.В. Давыдов, А.С. Овсянников, И.М. Маложон. -Новосибирск: Наука, 2004. -268 с.
 - 5 Материальное стимулирование работников железнодорожного транспорта. Теория и практика / А.В. Давыдов [и др.]. -Новосибирск: Наука, 2003. -186 с.
 - 6 Давыдов, А.В. Управление трудовыми ресурсами: учеб. пособие / А.В. Давыдов, А.П. Дементьев. -Новосибирск: Изд-во СГУПС, 2008. -132 с.
 - 7 Егоршин, А.П. Управление персоналом: учеб. для вузов / А.П. Егоршин. -3-е изд. - Н.Новгород: НИМБ, 2001. -720 с.
 - 8 Елкина, О.С. Экономическое поведение работников на рынке труда / О.С. Елкина, В.С. Половинко. -Омск: Изд-во ОмГПУ, 2001. -81 с.
 - 9 Технология управления персоналом. Настольная книга менеджера / П.В. Журавлев [и др.]. -М.: Экзамен, 1999. -576 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *результативность труда, разделение труда, управление трудом*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Рубежанский Петр Николаевич, канд. экон. наук, советник президента по внешнеэкономическим связям ОАО «РЖД»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, 2, ОАО «РЖД»*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОТ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

М.М. Рассказова

UP-TO-DATE METHODS FOR DETERMINATION OF THE RATIO OF RAILWAY OPERATING COSTS TO TRAFFIC VOLUME
«Siberian state transport university»
M.M. Rasskazova

Under current conditions separation of dependent and independent costs share against traffic volume for the given period has become mostly urgent.

В современных условиях стало наиболее актуальным выделение доли зависящих и независящих расходов от объема перевозок для текущего периода.

В условиях реформирования железнодорожного транспорта меняется не только структура отрасли, но и методы управления: разделены хозяйственные и государственные функции, выделяются новые филиалы, структурные подразделения, дочерние и зависимые компании. Главными задачами, стоящими перед Компанией ОАО «РЖД» стали не только удовлетворение потребностей в перевозках грузов и пассажиров и обеспечение безопасности движения, но и экономические результаты работы, которые позволили бы сохранить конкурентоспособность железнодорожного транспорта, повысить финансовую устойчивость и ин-

вестиционную привлекательность. Важным направлением повышения эффективности работы и конкурентоспособности железнодорожного транспорта является обеспечение высокого качества транспортного обслуживания клиентуры, расширение рынка транспортных услуг и совершенствование функций управления, и в первую очередь – управления затратами.

Управление транспортными затратами на железнодорожном транспорте является важнейшей, основополагающей экономической проблемой, которую начали исследовать с появлением первых железных дорог. По величине затрачиваемых основных средств и объему производства железная дорога является предприятием крупного масштаба. Поэтому изменение эксплуатационных расходов железных дорог, как и других крупных предприятий, подчиняется влиянию массовости производства, при которой издержки на единицу по мере роста размеров работы уменьшаются. Для определения влияния на эксплуатационные расходы изменения объема перевозок, внедрения новой техники, а также анализа расходов, оценки резервов снижения себестоимости перевозок необходимо изучать зависимость эксплуатационных расходов от условий и характера работы железных дорог.

Эксплуатационные расходы делятся в зависимости от изменения объема деятельности предприятия на переменные (пропорциональные) и постоянные (непропорциональные). На железнодорожном транспорте эти группы эксплуатационных расходов принято называть зависящими и независящими от размеров движения. Такое деление расходов используется для определения влияния объема транспортной продукции на ее себестоимость, установления тарифов на услуги железнодорожного транспорта, планирования эксплуатационных расходов и других технико-экономических расчетов.

Проблема деления эксплуатационных расходов на зависящие и независящие впервые была поставлена в России в 1848 году П.И. Собко, который сделал вывод, что неверно считать эксплуатационные расходы прямо пропорциональными объему работы. В 1875 году И.С. Блюх в своем труде «Русские железные дороги относительно доходов и расходов эксплуатации, стоимость провоза и движения грузов» разделил все расходы на зависящие и независящие. Расходы, не зависящие от движения, И.С. Блюх предложил отнести на версту дороги, а зависящие от движения – к соответствующим измерителям. Однако, деление на зависящие и независящие расходы было условное, так как увеличение размеров движения оказывает влияние на все категории затрат, но существуют все же расходы, на которые возрастание движения может оказывать самое незначительное влияние [1].

Наиболее полное рассмотрение проблемы зависимости эксплуатационных расходов железных дорог от размеров движения имеет место, в основном, в 20 столетии. В своем труде «Себестоимость железнодорожных перевозок» Е.В. Михальцев сделал следующие выводы о том, что при изменении объема перевозок все расходы железной дороги изменяются по величине. Расходов, которые можно было бы принимать постоянными и неизменяющимися, не существует; расходы по каждой статье плана расходов по мере изменения объема перевозок в той или иной степени подвергаются изменению. В составе расходов железной дороги имеется две основные группы расходов. Одна группа – расходы, связанные с операциями по передвижению, – непосредственно зависит от размеров перевозок и при неизменности качественной стороны работы дороги изменяется пропорционально размерам перевозок; другая группа – главным образом расходы по содержанию постоянного оборудования и оплате труда конторского, технического и счетного, а также административного персонала – изменяются скачкообразно и замедленно по сравнению с темпом прироста перевозок. Проанализировав расходы ряда железных дорог в конкретных условиях, Е.В. Михальцев утверждал, что под независящими от движения издержками надо подразумевать условно выделяемую часть расходов, которая при заданных размерах прироста грузооборота может применяться неизменной при условии, что вся остальная часть расходов изменяется пропорционально приросту объема работы. Следовательно, независящие расходы представляют собой не перечень заранее определенных, указываемых в профинплане статей расходов, а числовую совокупность некоторых долей от разных расходных статей профинплана, которую можно принимать постоянной при изменении остальной части расходов прямо пропорционально приросту работы [2].

Проведенные исследования позволили установить, что степень зависимости расходов при рассмотрении их за периоды разной продолжительности неодинакова. Русские ученые первые сделали вывод о том, что соотношение переменных и постоянных затрат на железных дорогах зависит от наличия запаса провозной способности и необходимости ее развития для освоения растущих перевозок.

В ранее выполненных исследованиях деление расходов на зависящие и независящие учеными производилось для трех вариантов анализа – годового, перспективного без развития пропускной способности (основной вариант) и перспективного варианта с развитием пропускной способности. Но, как правило, при решении практических задач применялись удельные веса зависящих расходов, рассчитанные для годового и основного вариантов анализа [3].

Анализ работ, проводимых в этой области, показал, что величина и состав переменных затрат зависит не только от временного периода, для которого рассматривался данный вопрос, но и от эксплуатационных особенностей работы железных дорог и их технического оснащения. Это объясняет значительную разницу в приводимом удельном весе зависящих затрат у разных исследователей. Можно выделить тенденцию к постепенному повышению доли независящих расходов по мере усиления технической вооруженности железнодорожного транспорта. Если исследователи в середине 20 века говорили о доле независящих затрат для годового периода в 30-40%, в 70-х годах эта величина уже составляла более 50%, на сегодняшний день только 30-35% расходов считают зависящими от объема работы.

Такое изменение соотношения зависящих и независящих затрат отражает влияние многих факторов действующих в разных направлениях – увеличивающих и уменьшающих величину переменных расходов. Сокращение объема перевозок, связанное с некоторым падением объемов промышленного производства, несоответствие динамики расходов изменению перевозочной работы, износ и старение технических средств, ограниченность инвестиций, снижение интенсивности загрузки основных фондов, рост цен и инфляционные процессы, социальные проблемы кадровой политики и другие условия по-разному повлияли на изменение степени зависимости отдельных статей и групп расходов от объема перевозок и, следовательно, возникла необходимость детализации расчетов, связанных с определением удельного веса переменных и условно-постоянных затрат.

Изменение структуры управления железнодорожным транспортом обусловило повышение роли отраслевых хозяйств железных дорог в управлении экономической деятельностью. Применение системы бюджетного планирования финансовых ресурсов компании привело к тому, что существенно возросло значение экономических расчетов с использованием соотношений зависящих и независящих от размеров движения расходов на текущий период (год, квартал, месяц). Текущий период характеризуется относительно небольшим приростом объема перевозок, происходящим в пределах необходимого запаса пропускной способности, постоянстве качественных показателей использования подвижного состава и сопоставимых расходных норм.

Однако, необходимо отметить, что на сегодняшний момент определение величины переменных затрат в компании не имеет единого подхода. Так, Департаментом экономики для экономических служб железных дорог разработаны контрольные цифры, характеризующие долю переменных затрат в целом по дороге и по отдельным отраслевым хозяйствам, которые рекомендуется использовать для корректировки бюджета затрат или определения «права» на расходы. Рекомендуемые значения являются средними для территориальных филиалов и не отражают удельный вес зависящих затрат по отдельным отраслевым хозяйствам и, тем более, структурным подразделениям.

Например, доля зависящих расходов установленная и утвержденная распоряжением ОАО «РЖД» на период с 2007 по 2009 года для Западно-Сибирской железной дороги составляет 16%, а для вагонного хозяйства – 11,4%. Использование этих данных для определения «права» на расходы и анализа исполнения бюджета затрат отдельных предприятий вагонного хозяйства нам представляется некорректным.

С другой стороны, для проведения расчетов, связанных с определением экономического эффекта мероприятий, экономической оценки показателей эксплуатационной работы рекомендована методика по определению доли зависящих расходов для отдельных отраслевых хозяйств и в целом железной дороги. Расчеты, проводимые по данной методике, показывают долю переменных затрат значительно выше, тех, которые установлены для дорог.

Исследования, проведенные автором на примере ремонтных вагонных депо Западно-Сибирской железной дороги, показали, что доля переменных затрат составила в среднем по предприятиям 81,8%, а в части фонда оплаты труда 68,8%.

Таким образом, следует полагать, что определение долей зависящих от объема работы расходов на основе конкретных материалов железных дорог, отраслевых хозяйств, отдельных дорог, структурных подразделений может привести к уточнению полученных результа-

тов. Это необходимо, прежде всего, для мониторинга исполнения бюджетов затрат и корректной оценки полученных отклонений, так как бюджетные данные включают затраты, рассчитанные для прогнозируемого, а не фактического объема работы.

В условиях выделения структурных подразделений в функциональные дирекции и дочерние компании возрастает значение расчетов, связанных с определением себестоимости выполняемых услуг, анализа исполнения бюджетных показателей, а значит, научно-обоснованный подход к определению величины переменных расходов требует дальнейшего исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Журавель, А.И. Себестоимость железнодорожных перевозок / А.И. Журавель. - Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2000.

2 Михальцев, Е.В. Себестоимость железнодорожных перевозок / Е.В. Михальцев. -М., 1957.

3 Смехова, Н.Г. Себестоимость железнодорожных перевозок / Н.Г. Смехова. -М., 2003.

4 Абрамов, А.П. Зависимость расходов железных дорог от изменения объема работ / А.П. Абрамов // Экономика ж.-д. трансп. -1999. -№8.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплуатационные расходы, переменные и условно-постоянные затраты, объем работы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рассказова Маргарита Михайловна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОНСТРУКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Макарова

DETERMINATION OF INTEGRAL CHARACTERISTICS FOR RECONSTRUCTIVE MEASURES

«Siberian state transport university»

E.A. Makarova

Factors of influence and development of reconstructive measures efficiency have been considered as production and economic phenomenon related to the production capacity changes of the economic system that can be characterized by both general and particular total costs changes.

Рассмотрены факторы влияния и образования эффективности реконструктивных мероприятий как производственно-экономическое явление, связанное с изменениями производственной мощности экономической системы, которая одновременно характеризуется общими и частными изменениями совокупных затрат. Он вместе с экономией средств производства и спросом образует общий экономический эффект воссоздаваемой стоимости.

Интегральное проявление экономического эффекта основывается на приоритете воздействия спроса. Именно уровень спроса определяет востребованность производственной мощности экономической системы, её готовность в транспортном производстве к осуществлению всех заявленных перевозок. Однако до настоящего времени можно наблюдать и ограничения в размерах реализации спроса. В условиях спада объема перевозок в 90-е годы даже в сезонно-пиковые периоды пассажирских перевозок, можно было наблюдать предельную заполняемость пассажирских поездов, что соответствует 20-30%-ному уровню удовлетворения в перевозках (отказа от перевозок, переноса дат отправления, реализации мест пониженной комфортности и др.).

Экономия денежных средств производства, отражаемая соотношением текущих цен и объемов затрат по факторам влияния, образует сложные динамические связи с объемами совокупных затрат самих факторов, заданных в стоимостной форме. Объемы самих факторов и их цены изменяются под воздействием внешних и внутренних условий (например, за счет изменения производительной силы экономической системы). Это указывает на то, что экономия факторов производства и изменение их объемов соответствуют разным сопутствующим и взаимодействующим экономическим процессам.

Реконструктивный эффект представляет собой производственно-экономическое явление, связанное с изменениями производственной мощности экономической системы, кото-

рая одновременно характеризуется общими и частными изменениями совокупных затрат. Он вместе с экономией средств производства и спросом образует общий экономический эффект воссоздаваемой стоимости. Взаимосвязь процесса воссоздания стоимости и образования интегральных характеристик экономического эффекта приведена на рисунке 1.

Как видно из приведенного рисунка, показатели непосредственно связаны с процессом воссоздания стоимости и образованием экономического эффекта.

Они отображают использование производственной мощности экономической системы и изменения, связанные с ее использованием. В связи с этим в качестве интегральных показателей представлены мощностные характеристики системы, сгруппированные по различным признакам. Следует иметь в виду, что при фактическом отображении эффекта отражается не максимально возможный результат производственной отдачи, а уровень ее востребованности. Интегральный экономический эффект воссоздания стоимости

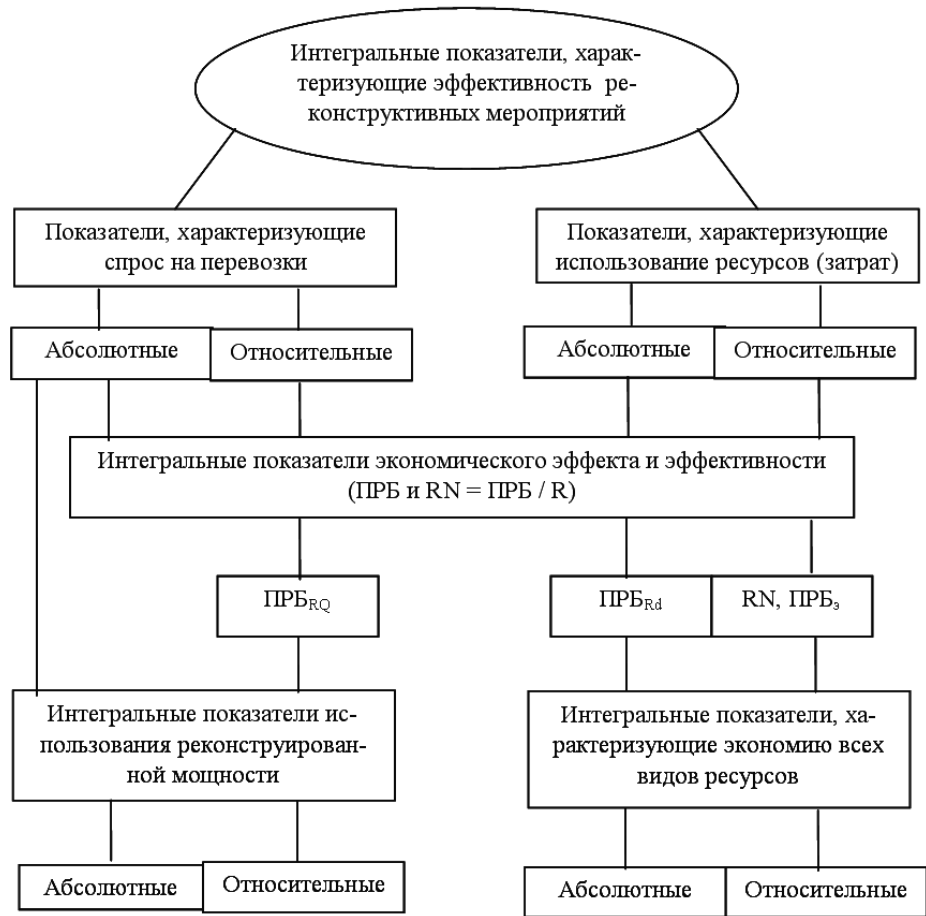


Рисунок 1 – Взаимосвязь реконструктивных мероприятий и экономического эффекта

устанавливается исходя из соизмерения результата реализации спроса с совокупными затратами ресурсов, использованных для его достижения. Эффект представляется разностью валового дохода и совокупных затрат и характеризует налогооблагаемую прибыль

$$PB = VD - R . \tag{1}$$

Экономическая эффективность характеризуется уровнем рентабельности и представляет собой отношение экономического эффекта к затратам

$$RN = PB/R . \tag{2}$$

Экономический эффект может быть образован за счет изменения размера используемой производственной мощности (см. рисунок 1), которая с одной стороны, изменяет состав и количество используемых ресурсов (PB_{RQ}), а с другой – создает экономию других, прежде всего финансовых, ресурсов (PB_{Rd}), что эквивалентно экономии состава затрат факторов производства (PB_R) и экономии производственной мощности и финансовых ресурсов (PB_3)

$$PB = PB_{RQ} + PB_{Rd} + PB_{3Q} + PB_{3d} . \tag{3}$$

Общий экономический эффект PB только отчасти характеризует результат реконструктивных мероприятий в части объема прибыли (PB_{RQ}), в котором прибыль сформировалась под действием изменения производственной мощности экономической системы и изменения базового состава совокупных затрат. Из рисунка 1 следует также, что изменение производственной мощности принимает участие и в образовании экономии ресурсов (PB_{3Q}).

Рассматриваемый подход к реконструкции как процессу изменяет и привычный взгляд на роль производительной силы: производительная сила может сопутствовать экономическому росту и течению времени, а может, наоборот, не сопутствовать экономическому росту, а нести регрессивный результат. Внешний фактор времени, если не считать выбор периода оценки, не оказывает влияния на протекание процесса образования стоимости во времени. Однако внутренняя организация экономической системы может быть построена таким образом, что она позволяет аккумулировать производственное время внутри экономической системы либо путем увеличения численности работников, либо посредством увеличения числа основных средств производства. Комплексной базовой характеристикой реконструктивного эффекта служит показатель изменения (темпов прироста) производительности ($\Pi_{общ}$) перевозочной деятельности. Рассматривая формулу (2) можно ограничиться двумя факторами производства: стоимостью базовых компонентов затрат R и прибавочной стоимостью $ПРБ$. По известным значениям доходной ставки d можно определить объем реализации спроса в зависимости от используемых и замещаемых в определенных пределах материальных и интенсифицирующих факторов

$$TKM_{HT} = \frac{R}{d} + \frac{ПРБ}{d} = TKM_R + TKM_{ПРБ}; \quad (4)$$

$$TKM_{HT} > 0; (R/d) > 0;$$

где $\pm(ПРБ/d)$ – показатель, который может принимать любые значения;

$TKM_R, TKM_{ПРБ}$ – соответственно взаимозамещаемые факторы.

Фактор отдачи ресурсов живого и овеществленного труда TKM_R допускает возможность замещения фактора интенсивности использования труда $TKM_{ПРБ}$ в полном объеме и даже более (нулевое и отрицательное значение $ПРБ$), однако обратное не представляется возможным, так как рассматриваемый фактор сам образуется за счет свойств различного использования затрат времени живого труда (ускорения и сжатия времени) внутри данного вида деятельности, представляя интенсифицирующий фактор. Общая производительность перевозочной деятельности в единицу времени (час) и ее распределение по замещаемым факторам будут иметь вид

$$\frac{TKM_{HT}}{T} = \frac{TKM_R}{T} + \frac{TKM_{ПРБ}}{T}. \quad (5)$$

Из приведенного уравнения, расчет общей производительности перевозочной деятельности можно вести двумя способами: либо путем непосредственного расчета $\Pi_{общ} = (TKM_{HT}/T)$, либо по данным о производительности замещаемых факторов

$$\Pi_{общ} = \Pi_R + \Pi_{ПРБ}.$$

Темп прироста общей производительности в перевозках при непосредственном расчете по исходным данным прироста реализованного спроса $mTKM_{HT}$ и изменения годового бюджета времени mT определится так

$$m\Pi_{общ} = \frac{m(TKM_{HT}) - m(T)}{1 + m(T)}. \quad (6)$$

Для одинаковых по числу дней в году лет темп прироста $mT = 0$, и только при переходе через високосные периоды mT будет принимать некоторые небольшие значения, так как

$$mT = \frac{T_1 - T_0}{T_0}.$$

В этом случае можно сказать, что темп прироста производительности определяется размером прироста реализованного спроса и практически не зависит от времени

$$m\Pi_{общ} \approx m(TKM_{HT}).$$

Отсюда можно сделать вывод, что процесс реконструкции, определяемый темпами прироста производительности в данном виде деятельности, при одинаковых сопоставляемых периодах не зависит от текущего времени сопоставления и определяется темпами фактически реализованного спроса.

Результаты расчета макроэкономических показателей, характеризующих производительность по перевозочной деятельности железнодорожного транспорта приведены в таблице.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица – Динамика темпов прироста производительности по реализованным факторам спроса

Годы	$mP_{\text{общ}}$, %	$m(P_R)$, %	По базовым факторам, %			$m(P_{\text{ПРБ}})$, %
			$m(P_{\text{пп}})$	$m(P_{\text{нк}})$	$m(P_{\text{от}})$	
1970	12,972	4,706	3,513	3,585	6,146	11,769
1980	4,803	1,769	-2,782	9,241	2,042	10,947
1990	5,173	6,874	11,116	7,846	3,197	1,067
1995	2,011	6,112	1,113	5,541	10,210	-8,263
2000	2,528	2,900	-3,231	8,893	2,063	-1,666
2001	-3,006	15,394	23,862	4,126	19,820	-8,606
2002	-1,170	16,745	17,526	21,521	12,433	-12,419
2003	-6,903	5,192	3,462	80,940	41,633	-11,642
2004	-2,924	1,986	2,742	-4,267	10,095	-54,726
2005	-7,723	-6,376	-0,191	-25,372	10,364	13,069
2006	14,765	59,528	74,700	46,700	54,564	65,006
2007	14,133	53,005	33,826	85,882	49,146	76,577
2008	3,545	39,969	84,744	22,054	10,480	-5,491

Истоки традиционного подхода оценки эффективности зародились в 80-х годах XIX века, когда для обеспечения транспортного строительства и тяжелой электроэнергетики требовались масштабные капиталовложения. Практическое отсутствие прироста силы тяги обусловило низкие темпы роста весовой нормы грузовых поездов, а, следовательно, и их среднего веса, которых на электрифицированных линиях за 20 лет увеличился на 22%, а в периоде с 1975 по 1980 гг. всего на 6%, в основном за счет удлинения станционных путей. Иными словами, в этот временной период рост технологической производительности происходил не за счет роста производительности локомотивной тяги, а за счет прироста производительности перевозочного процесса.

Сокращение материальных затрат на реконструкцию и капремонт отдельные годы не приводило к росту общей экономии затрат вследствие того, что непрерывно возрастали трудовые затраты и затраты основного капитала. В 90-е годы положение изменилось первоначально в худшую сторону: востребованность в производственной мощности падала, рост стоимости совокупных затрат и факторов производства носил инфляционный характер. Положение стало выравниваться к концу 90-х годов. Одним из негативных моментов, сформировавшихся к концу периода, является то, что базовые основные средства в значительной мере выработали свой ресурс и снизились размеры экономии по факторам производства, что привело к снижению темпов прироста экономической эффективности.

Измерение и оценка эффективности ремонтно-реконструктивных мероприятий не ограничивается интегральными показателями экономической системы. Классификация базовых направлений измерения и оценок свойств реконструкции характерная для экономической транспортной науки, представлена на рисунке 2. Проблема измерений в экономике представляет собой количественное отображение происходящих явлений и процессов.



Рисунок 2 – Классификация базовых направлений измерения и оценки научно-технического прогресса

Каждое из направлений исследований предполагает свой набор базовых методик и методических особенностей измерения и оценки свойств реконструктивных мероприятий:

Первое направление - измерения и оценка представляет собой формирование взгляда на теоретическое отображение категории эффективности – прогрессивности и полезности. Их взаимодействие и обеспечивает получение общего интегрального эффекта (рисунок 1). Сложность разделения эффектов данных категорий заключается в том, что оба эффекта – как прогресс, так и полезность в отдельные периоды (годы) могут не совпадать по знакам своих изменений, по-разному внося вклад в интегральный эффект.

Второе направление характеризует установление инновационных объектов и направлений исследований, высоких технологий, нетрадиционных технических средств и масштабов их проявлений

Третье направление определяет темпы технического развития, характер и условий протекания научно-технического прогресса на основе современных коммуникационных технологий.

Четвертое направление обеспечивает решение проблем экономического воспроизводства средств производства на основе модели «затраты – эффективность». Реконструкция электрифицированных железных дорог требует большого объема исследовательских и конструкторских разработок новых устройств энергообеспечения, а также времени для проверки их в опытной эксплуатации. Кроме того, необходимы разработка и освоение производства российской промышленностью ряда новых комплектующих изделий, материалов и прежде всего – современных силовых приборов, устройств автоматики и микропроцессорной техники.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Альберт, М. Основы менеджмента / М. Альберт, М.Х. Мескон, Ф.М. Хедоури. -М.,1992. -702 с.

2 Абрамов, А.П. Затраты железных дорог и цена перевозки / А.П. Абрамов. -М.: Транспорт, 1974. -256 с.

3 Барков, И.Н. Планирование и эффективности капитальных вложений на железнодорожном транспорте / И.Н. Барков, Ф.П. Мулюкин. -М.: Транспорт, 1990. -307 с.

4 Галабурда, В.Г. Транспортный маркетинг / В.Г. Галабурда, В.Е. Деружинский. -М.: МГУПС, 1994. -175 с.

5 Громов, Н.Н. Менеджмент на транспорте: учеб. пособие / Н.Н. Громов, В.А. Персианов. -М.: Академия, 2006. -524 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *реконструктивные мероприятия, экономическая эффективность, абсолютные и относительные затраты*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Макарова Елена Анатольевна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ОЦЕНКА ЛОКОМОТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

ОАО «Российские железные дороги»
ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

Т.В. Андранович, М.О. Северова

ESTIMATION OF THE LOCOMOTIVE COST COMPONENT FOR RAILWAY CARGO TRANSPORTATION

«Russian Railways»

«Siberian state transport university»

T.V. Andranovich, M.O. Severova

Under the conditions of traffic volume decrease one of the most important goals is operating costs reduction. As a major part of total costs of a locomotive enterprise is attributed to variable costs, improvement of maintenance work of a locomotive enterprise is becoming one of the key directions for the solution.

В условиях снижения объема перевозок одной из важнейших задач становится снижение эксплуатационных расходов. Совершенствование эксплуатационной работы локомотивного хозяйства, в затратах которого сосредоточена большая часть переменных затрат железнодорожного транспорта, становится одним из важнейших направлений для ее решения.

Локомотивное хозяйство является ключевым подразделением железнодорожного транспорта, главная задача которого – своевременно, устойчиво и качественно обеспечивать перевозки грузов и пассажиров тяговым подвижным составом и локомотивными бригадами, гарантировать безопасность и точность соблюдения графика движения поездов. Для этого все структурные подразделения локомотивного хозяйства должны осуществлять надежную эксплуатацию, техническое содержание и ремонт тягового подвижного состава и депо-ского оборудования; заказывать новые, а также совершенствовать и модернизировать существующие локомотивы; рационально использовать трудовые, материальные и топливно-энергетические ресурсы.

В современных условиях снижения объема перевозок все больше внимания уделяется возможности сокращения эксплуатационных расходов. Особенно это касается локомотивного хозяйства, в котором сосредоточена большая часть переменных затрат, связанных с перевозкой. В связи с этим важными задачами структурного подразделения являются эффективное использование и строжайшая экономия материальных, трудовых и денежных ресурсов, улучшение экономических показателей работы и прежде всего повышение производительности труда и снижение затрат на единицу перевозок. Для этого необходимо совершенствовать программу обучения локомотивных бригад, улучшать организацию их труда и отдыха, а также обеспечивать безопасные условия труда.

Локомотивное хозяйство тесно взаимодействует со смежными хозяйствами железных дорог, что особенно проявляется при внедрении достижений научно-технического прогресса. Изменение показателей работы локомотивного хозяйства определяет экономию затрат или перерасход хозяйств перевозок, вагонного, пассажирского, пути, информатизации и связи, электрификации и электроснабжения и других. И наоборот - мероприятия, проводимые в смежных хозяйствах, могут значительно повлиять на расходы локомотивного.

Эффективность работы данного подразделения в значительной степени зависит от материально-технической базы, необходимой для выполнения перевозочного процесса. Она включает в себя тяговый подвижной состав, здания основных депо с мастерскими, оборудованием и служебно-техническими помещениями, комплекс устройств для экипировки и технического обслуживания локомотивов, пункты смены и дома отдыха локомотивных бригад, базы запаса локомотивов. Определение потребности железных дорог в локомотивах, рациональное размещение, оптимизация структуры и размера локомотивного парка по полигонам эксплуатации, исходя из текущих и перспективных задач перевозок – еще одна важная задача хозяйства.

Таким образом, локомотивное хозяйство можно считать основным звеном технологической цепочки транспортировки грузов.

Западно-Сибирская железная дорога по праву занимает одно из ведущих мест в железнодорожной отрасли. Дорога надежно обеспечивает внешние и внутренние хозяйственные связи огромного региона. Без нее трудно представить себе работу крупнейших комплексов добывающей и перерабатывающей промышленности, сельского хозяйства. Именно на этой дороге первыми на сети приступили к реформированию одного из ключевых отраслевых хозяйств – локомотивного. Разделение хозяйства по видам деятельности, специализации локомотиворемонтных предприятий, выделение предприятий, обслуживающих пригородные перевозки – все это позволило значительно повысить эффективность работы данного подразделения. Так за последние 6 лет среднесуточная производительность локомотива выросла на 16%, средний вес поезда – на 3%, техническая скорость – на 10%, среднесуточный пробег локомотива – на 6%. Необходимо отметить, что среднесуточная производительность локомотива, равная 2451 тыс. т-км. бр., по величине на втором месте по сети, а техническая скорость движения грузовых поездов, равная 57,8 км/ч, сегодня на сети дорог самая высокая (по данным 2008 года). Благодаря росту этих показателей и увеличению эксплуатационного парка локомотивов происходит реализация запланированных объемов перевозок грузов и пассажиров и, одновременно, снижение эксплуатационных расходов на единицу перевозок.

Следует отметить, что на настоящий момент локомотивное хозяйство можно считать затратообразующим, так как его расходы составили для условий 2008 года около 42% в общих затратах на перевозку для рассматриваемого территориального филиала. При этом средние удельные затраты структурного подразделения ниже сетевого показателя на 30,3%.

В составе расходов локомотивного хозяйства по элементам затрат наибольший удельный вес составляют затраты на оплату труда – 31,6% и электроэнергию 28,4%. Около 85% расходов приходится на вид деятельности «локомотивная тяга», соответственно расходы на

ремонт подвижного состава составляют 15%.

В условиях финансового кризиса департамент локомотивного хозяйства предпринял ряд мер, позволивших резко снизить расходы уже в январе 2009 года к уровню октября 2008 года – на 19,2% и к январю прошлого года – на 15,2%. Среди основных направлений уменьшения расходов, помимо снижения эксплуатируемого парка, сокращения программы деповского ремонта локомотивов, также предпринимались такие вынужденные меры, как уменьшение контингента за счет естественного оттока кадров при отсутствии приема на работу, введение режимов неполного рабочего дня и неполной рабочей недели, предоставление отпусков без сохранения содержания. Кроме того, значительная роль отведена борьбе с непроизводительными потерями рабочего времени локомотивных бригад. Для этого внедряется автоматизированная система суточного планирования их деятельности. Также строго контролируется расход материалов и запчастей, повышена требовательность к снижению уровня закупочных цен. Энергоресурсы экономятся за счет повышения точности учета их расхода, организации работы в условиях снижения объемов перевозок и изменения цен на топливо. Сокращены программы капитального ремонта основных фондов.

Однако, осуществление вышеуказанных мероприятий должно сопровождаться достижением запланированных качественных показателей использования локомотивов и других экономических показателей деятельности локомотивного хозяйства дороги.

Уровень удельных затрат локомотивного хозяйства зависит прежде всего от организации эксплуатационной работы (направления грузопотоков, простоя поездов на участковых, сортировочных, промежуточных станциях) и показателей использования локомотивов (производительности локомотива, среднесуточного пробега локомотива, средней массы поезда, участковой и технической скоростей движения и других). Остановка поезда всегда вызывает дополнительный расход топливно-энергетических ресурсов на восстановление потерянной при торможении кинетической энергии, более интенсивный износ подвижного состава, увеличивает время работы локомотивных бригад, нахождение подвижного состава на участке.

В транспортной литературе существуют специальные методы расчета экономической оценки показателей эксплуатационной работы железных дорог и отделений. В основе методики лежит метод расходных ставок, позволяющий определить удельные переменные расходы на принятые измерители объема работы [3]. Как показали расчеты, произведенные автором, преимущественный удельный вес в себестоимости единиц эксплуатационной работы занимают именно расходы локомотивного хозяйства (более 90%), учитываемых в экономической оценке. Для некоторых измерителей себестоимость состоит полностью из затрат локомотивного хозяйства (рисунок).

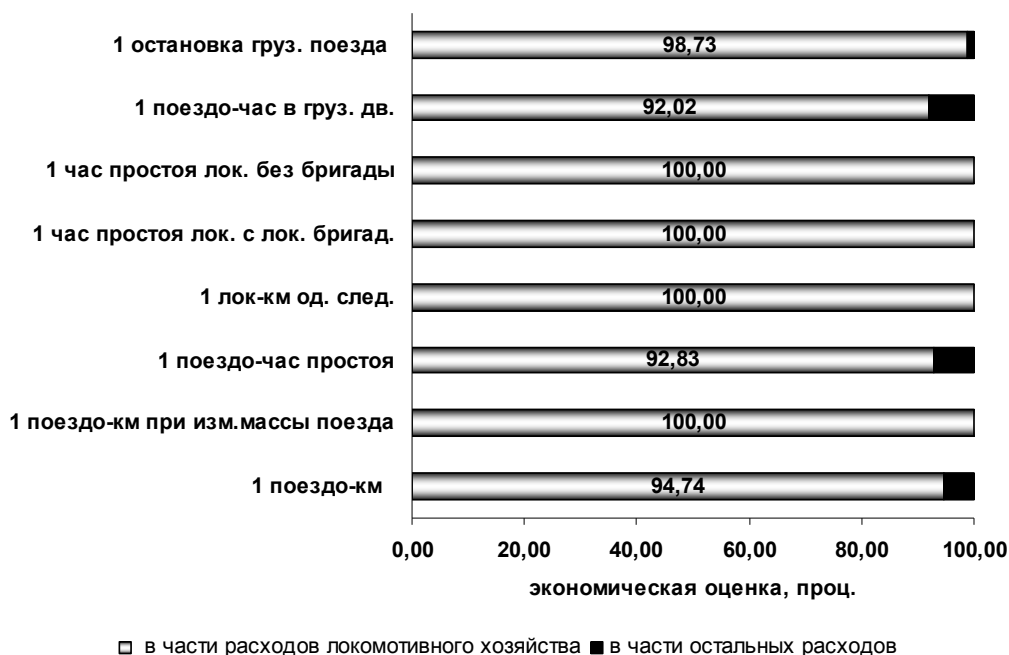


Рисунок – Удельный вес локомотивного хозяйства в укрупненных расходных ставках (электровозная тяга)

Также для условий Западно-Сибирской железной дороги были произведены расчеты зависимости расходов от показателей использования локомотивов. Так, например, годовой экономический эффект при увеличении среднесуточного пробега локомотивов на 1 км составляет: для электровозной тяги около 7 млн. руб., для тепловозной тяги – 1,4 млн руб. Со-

крашение расходов при экономии 1 кВт·ч электроэнергии для тяги поездов составило 1,25 руб., а при экономии 1 кг топлива для тяги поездов – 12,8 руб.; повышение массы поезда на 1% дает годовую экономию расходов в размере 57 млн. руб. (для условий электровозной тяги); повышение участковой скорости на 1% обеспечит годовую экономию расходов 2,3 млн. руб. и т.д. Необходимо отметить, что полученные результаты практически полностью состоят из расходов локомотивного хозяйства. Это является мощным рычагом для возможности сокращения эксплуатационных расходов на основании улучшения объемных и качественных показателей работы хозяйства. В условиях падения объема перевозок, и, связанного с этим, повышения удельных транспортных затрат, появляется возможность для более эффективного использования подвижного состава в части показателей, зависящих от резерва пропускной способности (скоростей движения, среднесуточных пробегов, простоев и др.).

В настоящее время все больше внимания будет уделяться возможности сокращения эксплуатационных расходов именно локомотивного хозяйства, в котором сосредоточена большая часть переменных затрат (около 74%), связанных с перевозкой.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Журавель, А.И. Себестоимость железнодорожных перевозок: учеб. пособие / А.И. Журавель. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2000. -304 с.

2 Теория и практика управления эксплуатационными затратами железнодорожного транспорта / Б.М. Лapidус [и др.]. -М.: ИЦФЭР, 2002. -256 с.

3 Методика и организация расчета укрупненных и единичных расходных ставок в условиях структурной реформы ОАО «РЖД». -М., 2008. -57 с.

4 Реформирование локомотивного комплекса: прогнозы и реалии // Локомотив. -2008. -№7. -С. 2-3.

5 Себестоимость железнодорожных перевозок / Н.Г. Смехова [и др.]. -М.: Маршрут, 2003. -494 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *локомотивное хозяйство, расходные ставки, эксплуатационные расходы, экономическая оценка, себестоимость единицы эксплуатационной работы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Андранович Тамара Васильевна, зам. начальника департамента планирования и бюджетирования ОАО «РЖД»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Северова Марина Олеговна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, 2, ОАО «РЖД»
630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДАМИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ

ОАО «Российские железные дороги»

Т.В. Андранович

PROBLEMS OF COSTS MANAGEMENT IN RAILWAY INDUSTRY UNDER THE CONDITIONS OF TRAFFIC VOLUME REDUCTION «Russian Railways»

T.V. Andranovich

Traffic volume reduction stipulates the necessity of measures development aimed at costs reduction in the biggest transport company «Russian Railways». Following this the issues related to separation of variable costs are becoming particularly urgent. The science – based methods that take into consideration current economic situation and specific features of separate railways' operating activities are required.

Снижение объема перевозок обуславливает необходимость разработки мероприятий по снижению расходов крупнейшей транспортной компании ОАО «РЖД». В связи с этим вопросы, связанные с выделением переменных расходов, становятся особенно актуальными. Необходимы научно-обоснованные подходы, учитывающие современную экономическую ситуацию и особенности эксплуатационной деятельности отдельных железных дорог.

Экономико-географические особенности нашей страны выдвинули железные дороги на первое место в единой транспортной системе. Железнодорожный транспорт отличается регулярностью движения в любое время года, он принимает на себя основную часть потоков массовых грузов, и в условиях нашей страны, с ее большими расстояниями, массовым и непрерывным производством, наилучшим образом отвечает потребностям в перевозках. Про-

долгая производственный процесс всех отраслей экономики, железнодорожный транспорт связывает их, а также различные районы страны в единое экономическое пространство.

Вместе с тем, необходимо отметить, что особенности функционирования транспорта как отрасли обуславливают его зависимость от процессов, происходящих в других отраслях, и в целом экономики государства. Поэтому, на современном этапе компании ОАО «РЖД» пришлось столкнуться со снижением потребности в перевозках грузов и пассажиров. Первое объясняется спадом производства во многих отраслях промышленности (строительство, металлургия и др.), второе – существенным снижением платежеспособности населения.

В сложившихся условиях перед компанией стоит важнейшая задача сокращения расходов, обеспечивая при этом сохранение качества оказываемых услуг, безопасности движения, а также максимально возможного сохранения персонала.

Определение основных направлений возможного снижения расходов должно базироваться на глубоком анализе отдельных элементов и групп затрат с учетом факторов издержек, их формирующих.

Ключевым вопросом становится выделение расходов и контингента, зависящих от объема работы. При этом необходимо учитывать, что объем работы на железнодорожном транспорте выражают не только показателем, от которого зависят доходы – грузооборот нетто, но и размерами движения – показателями, характеризующими объем работы подвижного состава и расходы по перевозкам.

Информационной базой для анализа эксплуатационных затрат является отчет формы 7-у. Форма 7-у «Внутрифирменная управленческая отчетность» представляет собой управленческий отчет о расходах предприятий железнодорожного транспорта в разрезе элементов затрат (мест возникновения затрат), видов деятельности (видов затрат), отраслевых хозяйств (центров ответственности), УВР (носителей затрат), а также статей Номенклатуры расходов. Кроме того, форма 7-у содержит информацию о значениях измерителей и показателей, используемых для целей планирования и анализа эксплуатационных расходов.

Форма 7-у предназначена для отражения фактической информации на основе данных управленческого и бухгалтерского учета затрат с целью последующего распределения их по видам деятельности предприятий железнодорожного транспорта и формирования управленческих отчетов. Форма построена в соответствии с действующей Номенклатурой расходов.

Информация, содержащаяся в форме 7-у, также используется для контроля за ходом исполнения бюджета затрат, формирования прогнозных величин бюджетов на плановый период, калькулирования себестоимости перевозок (других видов работ и услуг), анализа и разработки мероприятий по рациональному использованию материальных, трудовых и финансовых ресурсов.

Форма 7-у заполняется структурными подразделениями, дирекциями, НОД, предприятиями дорожного подчинения. Она является универсальной формой сбора информационных данных всех предприятий железнодорожного транспорта. Отчет формы 7-у представляет собой Классификатор расходов для целей управленческого учета.

Кодировка строк формы 7-у имеет иерархический характер и едина для всех видов деятельности. Это дает возможность использовать коды строк формы 7-у для автоматизации управленческого учета в рамках ЕКАСУФР.

В качестве дальнейших мер по совершенствованию системы управления затратами, а также системы учета и отчетности предлагается ввести оперативные отчеты о расходах в различных разрезах: вид деятельности – УВР; вид деятельности – хозяйства; хозяйство – вид расходов и т.д., на всех уровнях управления. Это позволит расширить информационную базу расчета и анализа затрат, детализировать удельные веса зависящих и условно-постоянных расходов по видам деятельности, УВР и отраслевым хозяйствам; экономически обоснованно определять степень влияния на расходы объема перевозок и качества эксплуатационной работы железных дорог.

Цель раздельного учета доходов, расходов и финансовых результатов по видам деятельности ОАО РЖД – обеспечение представления руководству Компании, филиалов и структурных подразделений информации о структуре доходов, расходов и финансовых результатов в разрезе видов деятельности, УВР и тарифных составляющих для принятия своевременных управленческих решений по повышению эффективности работы Компании.

Рассмотрим состав эксплуатационных расходов территориального филиала ОАО «РЖД» на примере Западно-Сибирской железной дороги:

- специфические (прямые производственные) расходы..... 66%;
- общепроизводственные расходы 16%;
- общехозяйственные расходы, без расходов на содержание аппарата управления..... 12%;
- расходы на содержание аппарата управления..... 6%.

Из приведенных данных видно, что основную долю занимают расходы основные прямые, специфические для каждого отраслевого хозяйства. Их доля в общей сумме затрат в 2008 году составляет 66%.

Именно в составе специфических расходов сосредоточена большая часть переменных расходов, которые должны быть приведены в соответствие с меняющимся объемом перевозок. Ниже показана структура специфических расходов по отраслевым хозяйствам:

- локомотивное хозяйство 46%;
- хозяйство пути 22%;
- хозяйство электрификации и электроснабжения..... 7%;
- вагонное хозяйство..... 6%;
- хозяйство перевозок..... 5%;
- хозяйство автоматики и телемеханики..... 5%;
- хозяйство гражданских сооружений, водоснабжения и водоотведений..... 4%;
- хозяйство коммерческой работы в сфере грузовых перевозок..... 2%;
- пассажирское хозяйство..... 1%.
- хозяйство связи..... 1%;
- прочие виды деятельности 1%.

Как видно, наибольшая доля специфических расходов приходится на локомотивное хозяйство (46%) и хозяйство пути (22%).

Автором были проведены расчеты зависимости эксплуатационных расходов от объема работы в годовом периоде на Западно-Сибирской железной дороге по отраслевым хозяйствам за 2008 год.

Расчеты выполнены с использованием реальных материалов в соответствии с «Временными методическими рекомендациями по определению доли эксплуатационных расходов, зависящих от объема работы» по дорогам и филиалам ОАО «РЖД» на 2007-2009 годы, утвержденному распоряжением ОАО «РЖД» от 16.01.2007 г. №43р.

Доля зависящих расходов определялась как в целом по дороге, так и для основных хозяйств, а именно: пассажирского, хозяйства грузовой и коммерческой работы, хозяйства пути, локомотивного, вагонного и хозяйства перевозок:

- локомотивное хозяйство 67,9%;
- вагонное хозяйство..... 11,4%;
- хозяйство грузовой и коммерческой работы 10,5%;
- хозяйство пути 5,3%;
- пассажирское хозяйство..... 1,82%;
- хозяйство перевозок..... 0,37%;
- всего «зависящих» расходов 30,8%.

В большей степени необходимость снижения расходов коснется локомотивного хозяйства, которое при спаде перевозок находится в самом невыгодном положении. Если расходы на топливо и электроэнергию могут быть снижены пропорционально падению тонно-километровой работы, то затраты на оплату труда привести в соответствие с объемом гораздо труднее.

Простое сокращение персонала вызовет дополнительные расходы по выплате выходных пособий. Для снижения расходов на оплату труда ОАО «РЖД» меняет режим работы на некоторых предприятиях, переходит на четырех дневную рабочую неделю. Это позволяет на данном этапе сохранить квалифицированные кадры (прежде всего локомотивные бригады), снизить социальную напряженность в небольших городах России, где территориальные подразделения ОАО «РЖД», являются основным источником доходов граждан, а также сохранить подготовленный персонал для освоения будущих объемов перевозок.

Однако, следует отметить, что для корректировки бюджетных показателей рекомендуется использовать долю переменных затрат, установленную и утвержденную распоряжением ОАО «РЖД» на период с 2007 по 2009 года №43р от 16.01.2007 г. Ее величина составляет 16%, что отличается от рассчитанной на 14,8%. При этом для корректировки расходов используется средняя величина. А как показали расчеты, наибольший удельный вес в абсо-

лютной величине переменных расходов составляют затраты локомотивного и вагонного хозяйства. По этим же хозяйствам доля переменных затрат значительна (годовой период: для локомотивного – 67,9%, для вагонного – 11,4%). Следовательно, реальное поведение расходов этих подразделений будет соответствовать доле переменных расходов, определенных конкретно для этих хозяйств.

При расчете «права» на расходы по установленной и рассчитанной долям переменных затрат получаются значительные отклонения. Так, при снижении объема перевозок на 3% разница составит около 217 млн. руб. (около 0,5% от общей суммы затрат). При снижении объема на 8% отклонение составит уже 513 млн. руб. (более 1% общей суммы расходов). Бюджет, рассчитанный по установленной доле переменных затрат является менее напряженным для дороги.

По нашему мнению, в данном случае необходимо выработать единый подход для расчета зависящих расходов. Задания по сокращению затрат в хозяйствах, где мало переменных расходов (хозяйство пути, сигнализации и связи, электрификации и др.) должны сопровождаться глубоким анализом. Так как в дальнейшем, при росте объема перевозок эти хозяйства будут иметь основание на увеличения «права» расходов в соответствии с ростом перевозочной работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Журавель, А.И. Себестоимость железнодорожных перевозок: учеб. пособие / А.И. Журавель. -Новосибирск: Изд-во Сиб. гос. ун-та путей сообщения, 2000. -304 с.

2 Себестоимость железнодорожных перевозок / Н.Г. Смахова [и др.]. -М.: Маршрут, 2003. -494 с.

3 Терешина, Н.П. Экономика железнодорожным транспортом / Н.П. Терешина, Б.М. Лapidус, М.Ф. Трихункова. -М., 2006. -304 с.

4 Экономическая оценка показателей эксплуатационной работы Западно-Сибирской железной дороги и ее отделений (грузовое движение). -Новосибирск, 2008. -108 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: зависящие и независящие расходы, объем перевозок, структура затрат

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Андранович Тамара Васильевна, зам. начальника департамента планирования и бюджетирования ОАО «РЖД»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 107174, г. Москва, ул. Новая Басманная, 2, ОАО «РЖД»

ЛИЗИНГОВЫЕ СХЕМЫ В ЭФФЕКТИВНОМ ФОРМИРОВАНИИ ИМУЩЕСТВА ДОЧЕРНИХ ОБЩЕСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.Л. Козловский, В.А. Щербаков

LEASING SCHEMES FOR EFFICIENT ASSETS ORGANIZATION IN SUBSIDIARIES OF THE RAILWAY HOLDING COMPANY «Siberian state transport university»

A.L. Kozlovskiy, V.A. Shcherbakov

In the period of setting-up a subsidiary authorized stock is generated by means of assets redistribution between the parent company and the subsidiary. In this stage adoption of leasing schemes is the most efficient method for financial management.

При создании дочернего общества формируется его уставный капитал путем перераспределения имущества между головной компанией и дочерним обществом при этом применение лизинговых схем является наиболее эффективной финансовой схемой.

Для достижения целей и реализации задач Структурной реформы на железнодорожном транспорте в ОАО «Российские железные дороги» идет создание дочерних обществ (ДЗО) и формируются их уставные капиталы (УК). Самым актуальным и проблемным вопросом при создании ДЗО является, как и по какой финансовой схеме перераспределить имущество между ОАО «РЖД» и ДЗО?

В нашей статье мы хотим предложить схему эффективного перераспределения имущества на примере ОАО «Первая грузовая компания» (ПГК).

В процессе реформы 26 июля 2007 г. было создано ОАО «Первая грузовая компания». Ее УК был сформирован путем передачи ОАО «РЖД» в собственность ОАО «ПГК» бывшего в употреблении подвижного состава, рыночная стоимость которого определялась на осно-

вании оценки проведенной ООО «ФБК».

В 2007 г. было внесено 177 000 вагонов в УК Общества, большая часть которых находилась в аренде третьих лиц. ОАО «РЖД» передало ОАО «ПГК» свои права по ранее заключенным договорам аренды. В 2008 г. было передано 23 061 вагон, наряду с полученными вагонами Обществом за счет собственных средств было приобретено 16 828 вагонов.

В ходе исследования была разработана следующая схема перераспределения имущества, в зависимости от степени износа и его остаточной стоимости (рисунок 1).

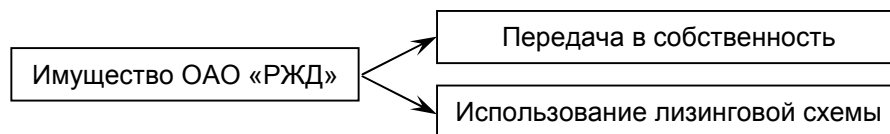


Рисунок 1 – Схема перераспределения имущества

Применим данную схему для анализа перераспределения имущества между ОАО «РЖД» и ОАО «ПГК».

Так как около 50% вагонного парка переданных Обществу составляют вагоны старше 20 лет, передача их в собственность без использования лизинговых механизмов полностью обоснована. Для остального вагонного парка имеет смысл применить следующую лизинговую схему (рисунок 2).

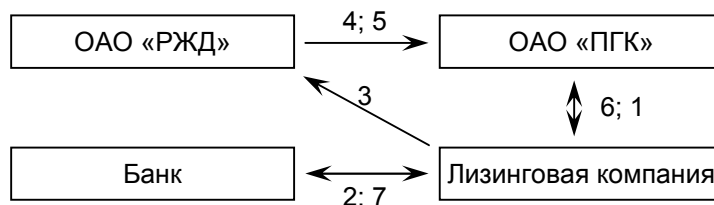


Рисунок 2 – Схема перераспределения имущества с использованием лизинга: 1-договор лизинга о поставке подвижного состава ОАО «РЖД» ОАО «ПГК»; 2-привлечение кредитных средств лизинговой компанией для осуществления лизинговой сделки; 3-перечисление денежных средств ОАО «РЖД» лизинговой компании за предмет лизинга; 4-поставка подвижного состава ОАО «РЖД» ОАО «ПГК»; 5-вклад ОАО «РЖД» в УК ОАО «ПГК»; 6-лизинговые платежи ОАО «ПГК» лизинговой компании; 7-гашение лизинговой компанией задолженности по кредиту

Применяя данную схему, ОАО «РЖД» и ОАО «ПГК» получает ряд положительных моментов:

- ДЗО получает в оперативное управление подвижной состав и вклад в УК в виде свободных денежных средств, которые она может, например, направить на обновление вагонного парка;
- Минимизация налога на прибыль у ОАО «РЖД» за счет налогового щита процентов по кредиту, а у ОАО «ПГК» за счет налогового щита лизинговых платежей и налогового амортизационного щита;
- Привлечение инвесторов путем максимизации прибыли с минимальными рисками. Что особенно актуально при выходе на IPO.

Данную сделку может сопровождать любой коммерческий банк и любая лизинговая компания или ОАО «ТранскредитБанк» и уже созданное ООО «ПГК-Лизинг», что позволит повысить эффективность работы всего холдинга ОАО «РЖД» в целом.

Описанная методика принятия управленческих решений применима также и для сданного в аренду третьим лицам вагонного парка, то есть имущество с большой степенью износа и маленькой остаточной стоимостью подлежит продаже, а с низкой степенью износа и большой остаточной стоимостью следует не сдавать в аренду (лизинг), а использовать самостоятельно в перевозочном процессе (таблица 1).

Движение транспортных средств ОАО «ПГК» за 2008 г.:

– на начало отчетного периода, тыс. руб.	75 918 359;
– поступило, тыс. руб.	23 076 192;
– выбыло, тыс. руб.	1 444 357;
– на конец отчетного периода, тыс. руб.	97 550 194.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 1 – Показатели по основным фондам ОАО «ПГК», тыс. руб.

Показатель	01.01.2008	31.12.2008
Передано в аренду объектов основных средств	72 362 154	20 526 277
Получено в аренду объектов основных средств, в том числе:	12	4 475 704
– здания	12	404 261

Рассмотрим возможности Компании по обновлению подвижного состава за счет имеющихся средств (таблица 2).

Таблица 2 – Структура капитала ОАО «ПГК» за 2008 г.

Источник капитала	Сумма, тыс. руб.		Структура капитала, %	
	01.01.2008 г.	31.12.2008 г.	01.01.2008 г.	31.12.2008 г.
Собственный капитал, в том числе:	86 820 349	93 744 729	98	90
– уставный капитал	85 652 434	85 652 434	98,7	91,4
– добавочный капитал	335 838	381 968	0,4	0,4
– резервный капитал	–	41 604	–	–
– нераспределенная прибыль	832 077	7 668 723	1,0	89,4
– заемный капитал	1 383 549	10 816 821	2	10
Итого	88 203 898	104 561 550	100	100

Из приведенных данных следует, что на 01.01.2009 г. только 18 485 544 тыс. руб. из всего капитала Компании находятся в виде свободных денежных средств. Таким образом, у ОАО «Первая грузовая компания» отсутствуют достаточные объемы средств для масштабного обновления вагонного парка, поэтому эффективное управление имуществом сыграет важную роль в хозяйственной жизни Общества, которое позволит найти и аккумулировать денежные потоки на одном из приоритетных инвестиционных направлений – обновление подвижного парка.

Для решения этой стратегической задачи нужна не просто замена старых, отслуживших свой срок вагонов, но и комплектация парка новыми моделями, имеющими улучшенные технические характеристики. Без этого противостоять конкуренции на рынке перевозок, которая заставляет снижать затраты, уменьшать время в пути и тем самым повышать качество доставки грузов, будет непросто.

Но возникает следующая проблемная ситуация, железнодорожный транспорт – сложный, масштабный и очень капиталоемкий бизнес. Сроки окупаемости большинства среднестатистических проектов в грузовом бизнесе при существующем уровне тарифов превышают пятнадцать лет, а рентабельность активов ОАО «РЖД» в 2008 г. составила 0,4%. Это значит, что на достаточный уровень дивидендов инвестору рассчитывать не приходится, а для возврата вложенных средств нужно не реинвестировать средства в железнодорожные активы. Последнее наиболее актуально при планах ОАО «Российские железные дороги» публично разместить 20-25% акций Компании на бирже с сохранением безусловного контроля над ней государством. Это может стать системным решением по привлечению частных инвестиций в железнодорожную отрасль [1].

Так как холдинг ОАО «РЖД» включает в себя производителей и потребителей подвижного состава, а также финансовые организации, то рентабельность инвестиций по обновлению подвижного состава, используя лизинговые механизмы, можно увеличить в несколько раз.

Таким образом, будут достигнуты следующие стратегические задачи:

- Привлечение частного капитала;
- Создание инновационного производства;
- Оснащение современным подвижным парком;
- Максимизация прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Якунин, В.И. Десять шагов к эффективности / В.И. Якунин // Эксперт. -2009. -31 авг.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный транспорт, лизинг

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Козловский Алексей Леонтьевич, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Савченко, Е.П. Шавров

THE METHOD APPROACHES TO FORMATION OF THE MODEL OF SOCIAL-ECOLOGY MONITORING PRODUCTION AREA AT THE JOINT STOCK COMPANY RUSSIAN RAILWAYS
«Siberian state transport university»
E.A. Savchenko, E.P. Shavrov

The care of health of railroad workers must be of an integrated type aiming to comfort level of life, including the improvement of health, lowering the level of illness and increasing creative life.

Охрана здоровья работников железнодорожного транспорта должна носить комплексный характер, направленный на обеспечение оптимального уровня жизнедеятельности, включая улучшение состояния здоровья, снижения заболеваемости и повышения творческого долголетия.

Социологические исследования в мониторинговом режиме для объектов железнодорожного транспорта могут носить в основном прикладной характер. При этом они должны быть ориентированы на прогностическую и рекомендательную функции.

Исследования могут помочь в выборе оптимальных схем организации управления производством. Социологическими методами (наблюдение, эксперимент, моделирование, анкетирование и др.) могут определяться пути повышения эффективности процессов производства, улучшения условий труда и отдыха, создания благоприятного социально-психологического климата в коллективах, обеспечения комфортности на рабочих местах, повышения производительности труда и т.д.

На объектах железнодорожного транспорта требуется решение социальных вопросов в следующих направлениях:

- оптимизация режимов труда и отдыха работающих;
- нейтрализация отрицательного влияния природно-климатических условий на организацию труда;
- развитие базы социально-бытовых условий для восстановления трудоспособности человека;
- определение видов деятельности с учетом физической тяжести труда и психологических нагрузок;
- медико-биологический контроль за адаптацией организма человека в сложных климатических условиях.

Следует отметить, что постоянное и длительное воздействие неблагоприятных факторов окружающей среды ведут к снижению адаптационных возможностей организма и, как следствие, развитию заболеваний. Контроль за этим процессом и управление им возможны при повторяющихся динамических наблюдениях. Результаты таких наблюдений могут иметь большое значение для разработки систем, предназначенных для ежегодной диспансеризации населения.

Разработанная авторами программа «Анкета социально-экологического мониторинга» направлена для использования определения уровня заболеваний производственного персонала и воздействия неблагоприятных производственных факторов на здоровье работников структурных подразделений ОАО «РЖД».

Для реализации программного продукта была выбрана Delphi 2009 Professional, как высокопроизводительная интегрированная среда разработки, предназначенная для быстрой разработки приложений для Windows. Delphi 2009 Professional сочетает производительность, свойственную визуальной разработке, расширяемый набор компонентов, мощное объектно-ориентированное программирование, исключительно быстрый компилятор для Win32, полную поддержку Windows API и гибкие возможности для соединения с локальными базами данных.

Firebird (FirebirdSQL) – компактная, кроссплатформенная, свободная система управления базами данных (СУБД), работающая на GNU/Linux, Microsoft Windows и разнообразных

Unix платформах.

В качестве преимуществ Firebird можно отметить многоверсионную архитектуру, обеспечивающую параллельную обработку оперативных и аналитических запросов, компактность, высокую эффективность и мощную языковую поддержку для хранимых процедур и триггеров. Firebird используется в различных промышленных системах с 2001 г. Это коммерчески независимый проект программистов, технических советников и разработчиков мультиплатформенных систем управления базами данных, основанный на исходном коде, выпущенном корпорацией Borland 25 июля 2000 года в виде свободной версии Interbase 6.0.

Программа «Анкета социально-экологического мониторинга» представляет собой удобную оболочку теста и решает задачи так или иначе связанные с тестированием: конфиденциальное анкетирование персонала. На рисунке 1 изображена основная форма клиентского приложения программы «Анкета социально-экологического мониторинга».

Программа позволяет организовать централизованное компьютерное тестирование для неограниченного числа пользователей, собрать всю информацию воедино, выявить существующие закономерности, исходя из целей и задач тестов, и выгрузить наглядные отчеты с результатами.

Описание характеристик программного продукта:

- динамический контроль состояния здоровья производственного коллектива;
- удобный интуитивно понятный интерфейс, разработанный для максимального облегчения восприятия в соответствии с требованиями и пожеланиями, выявленными пользователями за время работы с другими системами подобного рода;

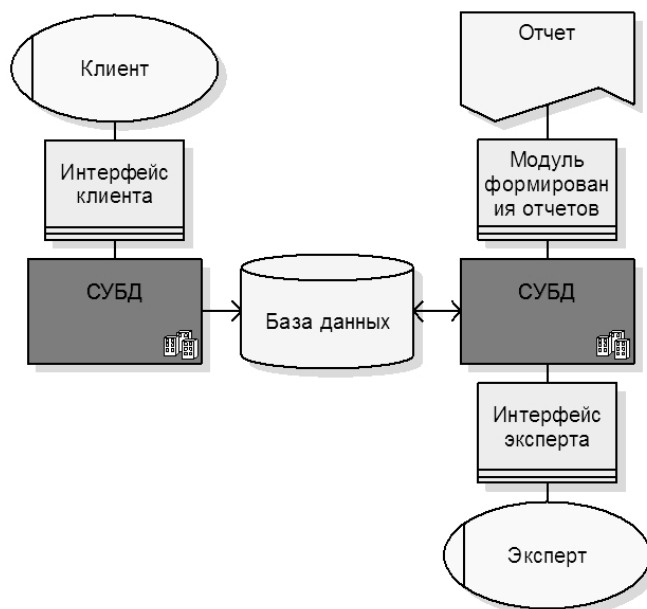


Рисунок 1 – Основная форма приложения (Клиент)

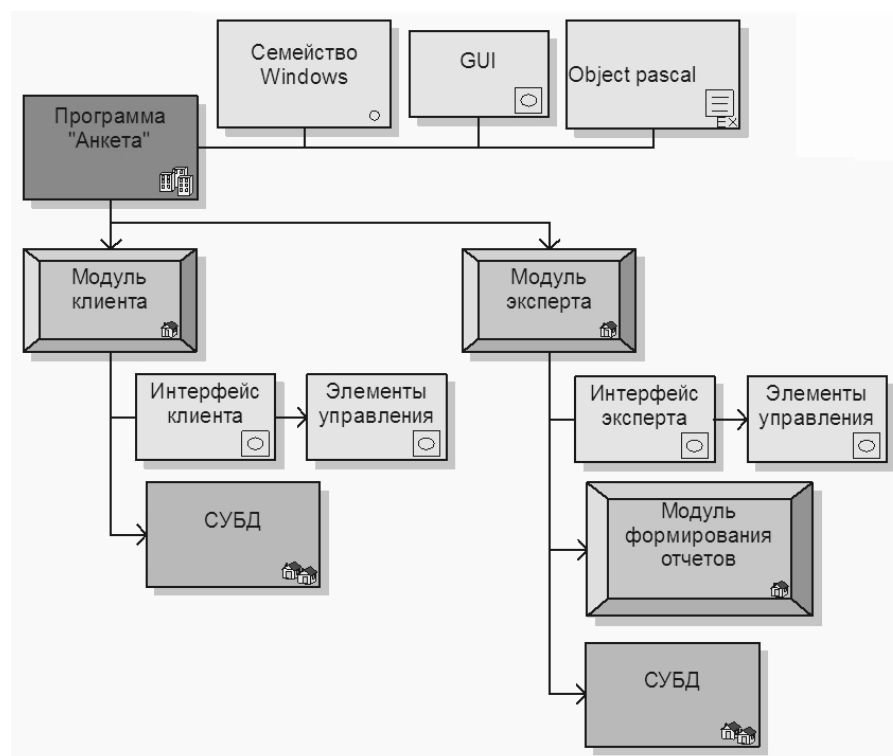


Рисунок 2 – Схема элементов программы «Анкета социально-экологического мониторинга»

- высокая скорость выполнения операций и обработки данных;
- отсутствие специальных требований к системным ресурсам и аппаратной части ПК.

На рисунке 2 представлена схема элементов программы.

Представленная программа позволит разработать методику по более достоверному определению влияния загрязненной окружающей среды на здоровье работников железнодорожного транспорта. В настоящее время из-за отсутствия такой методики социальный ущерб частично может быть оценен экономическими показателями. Так, можно определить расходы на здравоохра-

нение и социальное обеспечение: затраты на лечение (амбулаторное и стационарное), оплату больничных листов, а также потери производства от невыходов на работу и снижения производства продукции.

Для расчета такого рода экономических показателей возможно использовать модель «Диаграмма типов информационных систем» – Application system type diagram которая используется для описания структуры информационных систем. На данной модели можно показать типы и модули информационных систем, программные продукты, а также взаимосвязь между ними и бизнес-процессами которые они автоматизируют.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Капцов, В.А. Производственно-профессиональный риск железнодорожников / В.А. Капцов, А.П. Мезенцев, В.Б. Панкова. -М., 2002.

2 Экономика железнодорожного транспорта / под ред. Н.П. Терешинной, Б.М. Лapidуса, М.Ф. Трихункова. -М., 2006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *экономические показатели, здоровье работников железнодорожного транспорта, анкеты-расспросы работников*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Савченко Елена Александровна, старший преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»
Шауров Евгений Петрович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БЛОКА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев, Л.Н. Аршба

INNOVATION MODEL OF SPECIALISTS' PROFESSIONAL COMPETENCE DEVELOPMENT FOR FINANCIAL AND ECONOMIC BLOC OF RAILWAY STRUCTURAL DEPARTMENTS
«Siberian state transport university»
A.P. Dementiev, L.N. Arshba

In the given article contemporary industrial requirements for specialists of financial and economic bloc are analysed in accordance with the «Strategy of Human Resources Potential Development of JSC «Russian Railways» up to 2015». On this basis the innovation model of the professional competence is introduced.

Проведен анализ современных отраслевых требований к специалистам финансово-экономического блока в контексте «Стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года» и предложена Инновационная модель формирования их профессиональной компетентности.

В соответствии с главной целью «Стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД» на период до 2015 года» – повышение эффективности деятельности и вовлеченности персонала в реализацию корпоративных задач холдинга – необходимы качественные изменения в системе подготовки и повышении квалификации специалистов. Достижению этой цели, будет способствовать обеспечение роста компетенций персонала для развития ключевых видов бизнеса, и в первую очередь в сфере финансов и управления.

Компетенции специалистов в области корпоративных финансов, управления бизнесом, внедрения принципов и технологий управления организацией, ориентированных на результат, должны соответствовать требованиям стратегии развития холдинга и учитывать значительные изменения корпоративных задач, а также внешней и внутренней среды Компании.

Если раньше были востребованы узкоспециализированные умения и навыки, то сегодня необходимы специалисты, владеющие всеми видами профессиональной деятельности, способные проводить анализ хозяйственной деятельности предприятия, производить финансово-экономические расчеты, прогнозировать экономические результаты.

Анализ потребностей железнодорожной отрасли выявил требования к специалисту финансово-экономического блока: базовая теоретическая и практическая подготовка, позволяющая самостоятельно применять умения и навыки в профессиональной деятельности, владение компьютерными программами, навыками делового общения, проявление ответственности за результаты выполнения производственных задач, умение прогнозировать фи-

нансово-экономический результат хозяйственной деятельности предприятия, осваивать новые формы бухгалтерской отчетности, готовность к изменению характера и содержания труда. Поэтому особую актуальность приобретает элитарная финансово-экономическая подготовка компетентных специалистов, базой для которой должно стать создание идеологии инновационного обучения специалистов и разработка на ее основе комплексной Инновационной модели формирования профессиональной компетентности специалистов финансово-экономического блока ОАО «РЖД» (рисунок).



Рисунок – Модель формирования компетентного специалиста

Под моделью понимается средство моделирования способов обучения практической деятельности, основанное на лично ориентированном подходе, с целью формирования профессиональной компетенции.

Инновационная модель разработана как новый образовательный продукт - авторская программа, нацеленный на формирование принципиально новой ветви финансового управления корпорацией. Программа сфокусирована на подготовке нового поколения аналитиков и исследователей, владеющих международной методологией анализа капитала фирмы на основе его инвестиционной стоимости и оценки результативности его использования для достижения стратегической эффективности и устойчивости ОАО «РЖД» на разных этапах его жизненного цикла. Основная платформа программы строится исходя из задачи преодоления инерции бухгалтерской, контрольной и распределительной трактовок финансовой функции в корпорации, господствующих пока в России.

Актуальность разработанной модели состоит в том, что она дает возможность существенно обогатить содержание и повысить качество профессиональной подготовки с ориентацией ее на основного работодателя – ОАО «РЖД», подготовить специалиста высшего профессионального образования способного социально адаптироваться в любых условиях, к потребностям отрасли.

Содержательная часть инновационной модели подготовки специалистов построена на объединении в единый процесс научной, образовательной и производственной деятельности.

Инновационная модель формирования профессиональной компетентности специалистов финансово-экономического блока на основе интеграции образования, научных исследований и производства, предусматривает:

– отбор кандидатов в экспериментальную группу на основе разработанных психодиагностических систем и профессионально ориентированных комплексов в контексте ключевых корпоративных компетенций;

- внедрение авторских образовательных программ поддерживающего и профилирующего модулей по финансово-экономическим и междисциплинарным направлениям;
- профессионально-ориентированную иноязычную подготовку специалистов;
- адаптивные стажировки в финансово-экономических подразделениях ОАО «РЖД»;
- совместные программы с зарубежными университетами и транспортными компаниями;
- выполнение научно-исследовательской и выпускной аттестационной работы по актуальным вопросам финансового управления корпорацией.

В процессе адаптации Инновационной модели на Инженерно-экономическом факультете СГУПС и реализации системы формирования и подготовки кадрового резерва Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» под руководством заместителя начальника Западно-Сибирской железной дороги Кулинича Е.Н. была выявлена профессионально-ориентированная экспериментальная группа с лидерским потенциалом в количестве 27 человек из числа студентов 4-5 курсов специальностей «Экономика и управление на предприятии (ж.-д. транспорт)» и «Бухгалтерский учет и аудит», которые прошли обучение по программе элитарной специализированной подготовки специалистов с высшим образованием для подразделений финансово-экономического блока ОАО «РЖД». Мониторинг сформированности профессиональной компетентности выпускников экспериментальной программы показал достижение молодыми специалистами квалификации, соответствующей его будущей профессиональной деятельности. И как следствие – двадцать четыре участника экспериментальной программы были трудоустроены в структурные подразделения ОАО «РЖД»: финансовой службе, ОЦОР, дирекциях, вагонных и локомотивных депо и т.д., трое выпускников программы рекомендованы для обучения в аспирантуре СГУПС.

Таким образом, внедрение и развитие предложенной инновационной модели формирования профессиональной компетентности позволит повысить эффективность подготовки специалистов финансово-экономического блока для подразделений ОАО «РЖД» на пути достижения целей стратегии развития кадрового потенциала ОАО «РЖД», выполнения задач стратегии развития холдинга и сопряженных функциональных стратегий.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: компетентность, инновационная модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Аршба Людмила Николаевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

И.Н. Спицына, В.А. Константинова

COSTS MANAGEMENT AT ENTERPRISES OF A WAGON ENTERPRISE BY MEANS OF LOCAL INFORMATION SYSTEMS

«Siberian state transport university»

I.N. Spitsyna, V.A. Konstantinova

Under the conditions of budget management in railway industry costs management for cost drivers is becoming particularly important. Improvement of cost management system by means of information technology enables to manage costs efficiently within structural departments.

В условиях бюджетного управления на железнодорожном транспорте учет затрат в местах их возникновения становится особенно значимым. Совершенствование системы управления затратами с помощью информационных технологий позволяет оперативно управлять затратами на уровне структурных подразделений.

Управление затратами подразумевает целый комплекс мероприятий, направленных на снижение и контроль затрат. Процесс создания системы управления затратами на предприятии можно разбить на следующие этапы: [1]

- Установление связи между системами управления затратами и бюджетного управления;
- Определение перспективных направлений снижения затрат;
- Разработка плана мероприятий по снижению затрат.

На уровне структурных подразделений, в частности эксплуатационных вагонных депо,

процедура управления затратами ограничивается зачастую планированием бюджетных заданий, в части расходов, и анализом отклонений фактически исполненных бюджетов расходов от плановых заданий. Такой подход не дает обоснованной информации о причинах невыполнения плановых заданий по расходам и ограничивает возможность поиска резерва повышения эффективности хозяйственной деятельности структурных подразделений.

При оперативном управлении затратами основное внимание сосредоточено на бюджете прямых затрат. И, следовательно, управление ими позволит планировать расходы более точно в соответствии с вариабельностью технологического процесса. Система бюджетного управления дает наибольший успех, если она построена на основе информационных технологий [1].

Для решения задач оперативного управления затратами в научно-исследовательской лаборатории «Экономика транспорта» инженерно-экономического факультета Сибирского государственного университета путей сообщения разработана и внедрена на тридцати шести пунктах технического обслуживания грузовых вагонов (ПТО) и трех механизированных пунктов подготовки вагонов под погрузку (МППВ) информационно-аналитическая система «Бюджетирование прямых затрат ПТО и МППВ» (ИАС БПЗ). Процесс разработки и внедрения начался в 2005г. и в настоящее время на ПТО дороги работает четвертая версия, на МППВ – третья версия ИАС [2].

Разработанная система не является обособленной – она включена в информационное пространство дороги и имеет информационную связь с функционирующими рабочими местами автоматизированной системы управления линейными регионами (АСУ ЛР) и единой корпоративной системы управления финансами и ресурсами (ЕКАСУФР).

Процесс формирования бюджетов прямых затрат обуславливает свои строго определенные требования к потоку экономической информации. Существующие системы сбора, формирования и обработки оперативной и экономической информации имеют в своем составе информационные составляющие, которые могут быть использованы при разработке бюджетов прямых затрат.

Для расчета бюджета прямых затрат необходимо иметь информацию в части расходов трудовых и материальных ресурсов, а именно какие работы и кем выполнялись и какие материальные ресурсы были использованы для выполнения работ.

В процессе функционирования автоматизированного рабочего места (АРМ), входящего в состав информационно-аналитических систем, оператора ПТО (МППВ) возникает накопленная информация о выполненных работах и исполнителях. Регламент работы АРМ оператора ПТО (МППВ) позволяет фиксировать следующую информационную цепочку: Номер состава-Тип состава-Количество вагонов в составе-Выполненная работа на вагоне-Исполнитель работы или группа исполнителей.

Данная информационная цепочка может быть использована для расчета трудовых и материальных затрат.

Из модуля учета материальных ресурсов ЕКАСУФР необходимо иметь для расчета материальных затрат принятые к учету средневзвешанные цены.

Проектирование информационных составляющих расчета бюджетов прямых затрат выделяет:

1 Нормативно-справочную информацию расчета бюджетов:

- классификатор выполняемых работ с нормативами времени;
- классификатор выполняемых работ со списком используемых запасных частей и прочих материальных ресурсов в количественном выражении;
- список работников смен с признаками для расчета затрат трудовых ресурсов.

2 Оперативную информацию:

- сведения из АРМ оператора ПТО (МППВ);
- сведения из модуля ЕКАСУФР – запасные части и материалы и их средневзвешанные цены;

3 Собственная оперативная информационная база, формирующаяся на основе нормативно-справочной и оперативной информации.

Алгоритм расчета прямых затрат в ИАС «Бюджетирование прямых затрат ПТО (МППВ)» включает в себя следующее:

1 На основании данных о рабочем времени и выполненных работах каждым работником производится расчет повременной заработной платы и определяется суммарное премиальное вознаграждение, которое в соответствии с отраслевыми положениями об оплате труда

распределяется между сменами (с учетом интенсивности работы смены), а затем между работниками смен с учетом конкретного вклада каждого работника.

2 После расчета премии работникам основных профессий на основные показатели производится расчет дополнительного вознаграждения.

3 На основании данных о выполненных работах формируется информация о количестве сменных запасных частей и на основании данных из ЕКАСУФР рассчитывается сумма расходов на материалы.

4 На основании действующего процента и полученной суммы на заработную плату рассчитывается сумма расходов на отчисления на социальные нужды.

5 Затраты на электроэнергию формируются из расчета фактического расхода электроэнергии на один вагон и количества подготовленных вагонов по смене. Ввод дополнительной информации производится с рабочего места экономиста вагонного депо.

6 Затраты на топливо рассчитываются по фактическому расходу на один вагон и количеству подготовленных вагонов по смене.

6 Амортизационные отчисления формируются из расчета фактического расхода на один вагон и количества подготовленных вагонов по смене.

7 Прочие расходы рассчитываются путем распределения суммы расходов пропорционально объемам выпуска.

Бюджеты прямых затрат формируются по каждой смене с консолидацией их в бюджеты МППВ и ПТО.

В ходе проведенного анализа работы МППВ за 2007-2009 гг. с использованием данных информационно-аналитической системы «Бюджетирование прямых затрат МППВ» получены следующие результаты:

1 Основной составляющей в бюджете на ремонт одного вагона является элемент затрат «материалы» – доля в общих затратах составляет от 50 до 76%, тогда как затраты на заработную плату занимают от 9 до 25% в составе бюджета затрат на ремонт одного вагона.

2 При существенном изменении объемов работ, уровень и доля составляющей в бюджете затрат на ремонт одного вагона по элементу «заработная плата» меняется незначительно, так как тарифная часть и премия напрямую зависят от объемов выполняемой работы.

3 Показатель «объем погрузки грузов» имеет тенденцию роста в зависимости от сезонности, а именно во второй половине года. При возрастании объемов погрузки наряду с увеличением объемов ремонта (подготовки) грузовых вагонов под погрузку уровень и доля составляющей по элементу «материалы» в бюджете затрат на ремонт (подготовку) 1 вагона под погрузку имеет тенденцию роста.

В процессе исследований была установлена зависимость показателя «коэффициент сменяемости запасных частей» от объемов погрузки. При увеличении объемов погрузки этот показатель в расчете на один вагон имеет тенденцию роста с 3,54 (при ровной динамике объемов погрузки) до 5,02 (при возрастающих объемах погрузки).

Вывод:

На основании проведенного анализа можно сказать, что при планировании бюджета затрат на ремонт (подготовку) одного вагона наряду с принятым алгоритмом формирования бюджета в зависимости от установленного задания на ремонт и сложившейся себестоимости, необходимо учитывать планируемый объем погрузки грузов и сезонный характер работы. Бюджет затрат на один вагон по элементу «материалы» напрямую зависит от сменяемости запасных частей и объемов погрузки грузов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чупейкина, Л.Г. Система бюджетного управления на железнодорожном транспорте / Л.Г. Чупейкина // Экономика ж. д. -2004. -№1. -С. 40-48.

2 Макогон, Д.В. Экономическое значение повышения качества обслуживания грузовых вагонов / Д.В. Макогон, О.В. Речкунова // Вестн. ВНИИЖТ. -2006. -№6. -С. 35-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бюджетирование, управление затратами, локальные информационные системы, вагонное хозяйство

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
Константинова Вера Александровна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.Н. Спицына, В.А. Качинский

PECULIARITIES OF INTRODUCTION OF MANAGEMENT INFORMATION SYSTEMS IN RAILWAY INDUSTRY

«Siberian state transport university»

I.N. Spitsyna, V.A. Kachinskij

Under the conditions of budget management in railway industry costs management for cost drivers is becoming particularly important. Improvement of cost management system by means of information technology enables to manage costs efficiently within structural departments.

Специфика управления железнодорожной отраслью определяет необходимость широкого использования современных достижений информационных технологий. Опыт внедрения автоматизированных систем управления показывает наличие определенных особенностей этого процесса, особенно при использовании в качестве базовых ERP-систем.

Проект внедрения единой корпоративной автоматизированной системы управления финансами и ресурсами (ЕК АСУФР) в МПС РФ стартовал в 1998 году, после того как были сформулированы требования о необходимости поставить под контроль процессы управления финансами и материально-техническими ресурсами всей сети дорог, а также определения продукта, составившего основу будущей системы. Им стала система SAP R/3 – разработка немецкой компании SAP AG – мирового лидера в разработке корпоративных информационных систем управления крупными и средними предприятиями.

Непосредственная реализация проекта началась в 1999 году с разработки и пилотного внедрения модуля управления финансами. Итогом этого этапа стало введение в опытную эксплуатацию подсистем управления финансами и материально-техническими ресурсами на двух уровнях: центральное руководство и уровень железных дорог. Следующим этапом проекта стала автоматизация работы предприятий линейного уровня на основе типовых решений. Такой подход позволил привести бизнес-процессы к единому знаменателю и обеспечить необходимую четкость и прозрачность деятельности железных дорог на всей территории страны – от Сахалина до Калининграда.

К настоящему времени в единой системе работают все предприятия территориальных филиалов ОАО «РЖД» (17 железных дорог), предприятия функциональных филиалов (не занятых в перевозочном процессе), а также центральный аппарат. С помощью ЕК АСУФР специалисты ОАО «РЖД» всех уровней контролируют в режиме реального времени все ключевые показатели деятельности в области финансов, управления затратами, учета имущества, материально-технического снабжения. В ЕК АСУФР используется большинство модулей системы SAP, включая SAP BW (SAP Business Information Warehouse). На базе BW созданы и успешно функционируют подсистема анализа доходов от грузовых перевозок; подсистема анализа договоров, заключаемых от имени ОАО «РЖД» с внешними контрагентами; подсистема анализа наличности ОАО «РЖД». Использование SAP BW в составе ЕК АСУФР позволяет классифицировать её не только как учетную систему, но и как систему поддержки принятия управленческих решений.

Одновременно с реализацией проекта управления финансами ресурсами, на базе существующей к тому моменту ERP-инфраструктуры, в 2003 году в ОАО «РЖД» стартовал второй крупный ERP-проект – в области управления трудовыми ресурсами. Проект получил название Единой корпоративной системы управления трудовыми ресурсами (ЕК АСУТР). Основной задачей управления персоналом ОАО «РЖД» является подбор и расстановка кадров, обеспечивающих грамотное управление и квалифицированное исполнение на уровнях оперативного, тактического и стратегического управления. Создаваемая система обеспечивает эффективное управление персоналом ОАО «РЖД» – около 1,3 млн. человек. Она используется для автоматизации бизнес-процессов нормирования труда, учета рабочего времени, расчета заработной платы, охраны труда и т.д. Основные пользователи системы – сотрудники департамента управления персоналом, работники кадровых служб подразделений железных дорог, экономисты и бухгалтеры.

Оба проекта являются уникальными в своём роде и не имеют аналогов в мире как по

охвату территории, так и по объему операций. В настоящее время ежедневно в системах ЕК АСУФР и ЕК АСУТР по всей стране работают более 50 тыс. пользователей более чем 15 тыс. структурных подразделений ОАО «РЖД».

В ходе проектирования и внедрения систем был применен целый ряд нестандартных решений, учитывающих особенности ОАО «РЖД» как объекта внедрения. Так, одним из основных принципов, принятых за основу при построении ЕК АСУФР и ЕК АСУТР, стало централизованное ведение нормативно-справочной информации (ЦНСИ). Данное решение позволило избежать рисков и излишних затрат, связанных с необходимостью синхронизации данных из различных источников.

Другим важным проектным решением явилось применение принципа централизации разработки. Разработка и обновление всех систем осуществляется через единую центральную систему разработки, установленную в Москве, в Главном вычислительном центре ОАО «РЖД». Все обновления проходят контроль качества в центре, а затем тиражируются в дорожные системы.

Кроме того, при создании ERP-систем в ОАО «РЖД» необходимо было учитывать тот факт, что помимо систем управления финансовой деятельностью и кадрами, в ОАО «РЖД» продуктивно эксплуатируется и достаточно большое количество автоматизированных систем, обеспечивающих функции управления перевозочным процессом, планирования технических ресурсов, расчетов за грузовые и пассажирские перевозки. При создании систем ЕК АСУФР, ЕК АСУТР во многих случаях делалась ставка на реализацию интерфейсов с данными системами – для того, чтобы обеспечить единство автоматизированной системы ОАО «РЖД» (АСУ ОАО «РЖД»).

В целом, по оценкам экспертов, оба проекта на данном этапе можно считать вполне успешными, однако среди положительных аспектов, можно выделить и некоторые негативные тенденции, заблаговременное изучение которых значительно облегчит процесс дальнейшего внедрения и повысит эффективность использования систем.

Существует проблема, связанная с тем, что процесс внедрения новых систем, занимающий достаточно много времени, протекает одновременно с выполнением сотрудниками своих повседневных обязанностей в старых информационных системах. В результате люди, которые вовлекаются в работы по внедрению ERP-системы, фактически пытаются «усидеть на двух стульях», поскольку от основных обязанностей они не освобождены, но при этом вынуждены выполнять еще и дополнительные функции. Оказавшись в такой ситуации, человек не в состоянии расставить приоритеты, поскольку не понимает, что является важнее в настоящий момент. Кроме того, для работников зачастую не предусматривается материальное вознаграждение за дополнительную работу, связанную с внедрением ERP-системы. В связи с этим, отдельные этапы проекта внедрения системы могут затягиваться под предлогом того, что у сотрудников и так хватает срочной работы по прямому назначению, а освоение системы является второстепенным и отвлекающим занятием. В таких случаях руководителю предприятия, помимо ведения разъяснительной работы с уклоняющимися от освоения новых технологий сотрудниками необходимо повышать уровень мотивации сотрудников к освоению системы в форме поощрений и благодарностей, а также принимать организационные меры к сокращению срока параллельного ведения дел.

Также наиболее остро стоит проблема нехватки квалифицированных кадров – бухгалтеров, экономистов, кадровиков, специалистов по расчету заработной платы, способных быстро адаптироваться к новым информационным системам и эффективно выполнять свои обязанности. Для успешной работы уже внедренной системы необходима определенная квалификация сотрудников. Если персонал не знает, как работать с компьютером, эффективная работа современной системы представляется маловероятной. Зачастую сотрудники просто не понимают, зачем нужна новая система, они не готовы к современным методам работы, боятся новшеств, не осознают значение автоматизации. Поэтому чрезвычайно важно следить за наличием у сотрудников достаточного количества информации о внедряемом проекте, создавать у сотрудников всех уровней твердое убеждение в необходимости внедрения, а также подкреплять все организационные решения по вопросам внедрения изданием соответствующих приказов и письменных распоряжений.

В условиях РЖД для преодоления данной проблемы также представляется необходимым выстроить четкую систему обучения персонала, состоящую как из подготовки студентов отраслевых ВУЗов, так и непрерывного совершенствования уровня знаний о внедряемых системах кадрового состава ОАО «РЖД».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: корпоративные информационные системы, управление финансовыми и трудовыми ресурсами
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
Качинский Владислав Александрович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ С СОБСТВЕННИКАМИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.А. Константинова, В.В. Галтер

DEVELOPMENT OF REGULATORY BASIS AT JSC «RUSSIAN RAILWAYS» FOR MUTUAL SETTLEMENTS ARRANGEMENT WITH ROLLING STOCK PROPRIETORS
«Siberian state transport university»
V.A. Konstantinova, V.V. Galter

The mechanism of development of regulatory basis for mutual settlements arrangement with rolling stock proprietors for uncoupling maintenance and repair work has been considered.

Рассмотрен механизм разработки нормативной базы для организации взаиморасчетов с собственниками подвижного состава за выполненный текущий отцепочный ремонт.

В последние годы на рынке оказания перевозочных услуг отмечена тенденция увеличения числа частных компаний – владельцев вагонного парка. Если в предыдущие годы основное требование компаний – операторов подвижного состава относилось к обеспечению своевременной доставки перевозимого груза, то на сегодняшний день собственники грузовых вагонов стремятся за минимальный срок реализовать поставленные стратегические цели, направленные на повышение рентабельности производства, и как следствие, принимают меры, направленные на оптимизацию затрат, связанных с внеплановыми видами ремонтов. Соответственно возросли требования компаний – владельцев грузовых вагонов к качеству проведения ремонтов, своевременности, полноте и качеству оформления документации к оплате за выполненные работы. Для подтверждения целесообразности проведения работ и своевременной оплаты собственниками грузовых вагонов выполненных текущих отцепочных ремонтов, требуется создание единой нормативной базы, регламентирующей взаимоотношения предприятий вагонного хозяйства с компаниями – собственниками подвижного состава и механизма управления сбора и анализа информации [1].

Для оперативного и достоверного учета стоимости выполненных текущих отцепочных ремонтов, формирования пакетов документов к оплате за выполненные работы для собственников грузовых вагонов на Западно-Сибирской железной дороге разработана информационно-аналитическая система «ТОР-Финанс» (ИАС «ТОР-Финанс»).

При разработке ИАС «ТОР-Финанс» реализован механизм управления сбором и анализом информации с применением единой нормативной базы работы участков текущего отцепочного ремонта.

На первом этапе, при разработке учета и контроля процессов взаиморасчетов с компаниями – собственниками подвижного состава за выполненный текущий отцепочный ремонт, проведен аудит информации за 2006-2008 годы о компаниях – собственниках (арендаторах) подвижного состава, производивших ремонт вагонов в вагонных депо дороги. По итогам аудита разработан единый справочник компаний – собственников подвижного состава, с указанием данных о местонахождении, банковских реквизитах компаний и информации о договорной деятельности за предыдущие периоды и на



Рисунок 1 – Структура справочника данных компаний – собственников подвижного состава

текущий момент.

Справочник данных компаний – собственников подвижного состава включен в базу данных ИАС «ТОР-Финанс» в качестве источника к алгоритму формирования отчетных форм.

Структура справочника данных компаний – собственников подвижного состава представлена на рисунке 1.

На втором этапе разработки, к справочнику кодов неисправностей грузовых вагонов, определен перечень операций, направленных на их устранение при текущем отцепочном ремонте вагонов. Для уточнения нормативной базы по учету трудовых и материальных ресурсов, согласно разработанному перечню операций, выполняемых при ремонте вагонов, проведен анализ технологических процессов работы ТОР дороги и хронометражные наблюдения. На основании проведенных наблюдений разработаны нормативы времени на тринадцать выполняемых операций, ранее не учтенные в типовых нормах времени, и определена материалоемкость операций. Таким образом, создан справочник стоимости операций, выполняемых при текущем отцепочном ремонте вагонов, с данными о трудовых затратах, материалоемкости на выполняемые работы и ценах на материалы и запасные части. При разработке нормативной базы справочник стоимости ремонта деталей и узлов вагона, выполняемых в ремонтных вагонных депо (подразделениях ЦДРВ) выделен в отдельный макет информации, так как ценовая политика стоимости работ по восстановлению запасных частей и узлов вагона регламентируется Центральной Дирекцией по ремонту грузовых вагонов – с 01.04.2009 г. объявлен единый Прейскурант цен на выполнение ремонтных работ на предприятиях Дирекции по ремонту грузовых вагонов.

Установление единого механизма формирования стоимости текущего отцепочного ремонта вагонов в части прямых затрат обеспечит единство ценовой политики при взаиморасчетах с компаниями-собственниками. Структура справочника стоимости операций, выполняемых при текущем отцепочном ремонте вагонов, представлена на рисунке 2.

На третьем этапе применена методика формирования калькуляции затрат и регламентированы единые нормативы накладных расходов, уровень рентабельности и методика расчета ставок сбора за подачу – уборку вагонов на участках ТОР дороги.

На основании трех этапов проведенного исследования действующих на дороге нормативных документов и инструкций, определены параметры единого технологического процесса и регламента по взаиморасчетам с компаниями – собственниками подвижного состава за выполненный ремонт.

Для изыскания возможности автоматизации механизма

сбора и анализа информации о текущих отцепочных ремонтах грузовых вагонов рассмотрены автоматизированные системы учета работы ТОР дороги. В качестве источника необходимой информации приняты данные информационных баз ГВЦ (Главного Вычислительно центра) – АСУ СТ (Автоматизированная система управления работы станции) и АСОУП (Автоматизированная система управления процессами перевозок). Информация о неисправных вагонах и проведенных ремонтах, с указанных внешних баз данных поступает и обрабатывается в ИАС «ТОР-Финанс» в режиме реального рабочего времени (в течение смены), что обеспечит оперативную работу с компаниями-собственниками подвижного состава по вопросам, возникающим при текущем отцепочном ремонте вагонов. Схема передачи информации с информационных баз дороги о работе участков ТОР в ИАС «ТОР-Финанс» приведена на рисунке 3.

Таким образом, проведенные исследования и наблюдения на участках текущего отце-

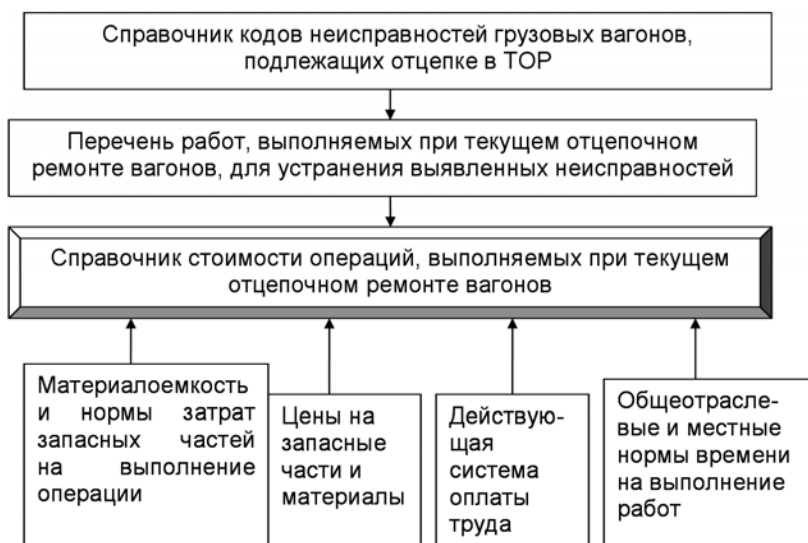


Рисунок 2 – Структура справочника стоимости операций, выполняемых при текущем отцепочном ремонте вагонов

почного ремонта дороги позволили разработать единую нормативную базу с механизмом управления сбором и анализом информации. Составляющими единой нормативной базы стали внутренние источники информации (нормативные документы и инструкции) и внешние источники информации (базы данных информационных систем).

Объединение баз данных систем по учету работы участков ТОР дороги в единый комплекс позволит управлять процессом сбора и анализа информации о выполненных текущих отцепочных ремонтах вагонов. Разработанный на основании исследований действующих нормативных технических и финансовых документов единый регламент по взаиморасчетам с компаниями-собственниками подвижного состава за выполненный текущий ремонт предназначен для регулирования ценообразования и мониторинга деятельности участков текущего отцепочного ремонта в целом.

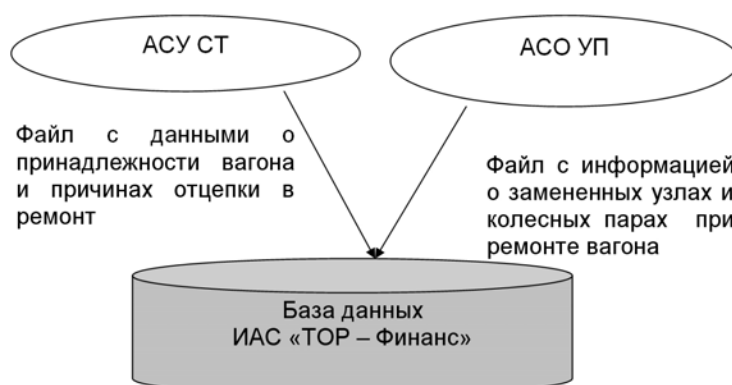


Рисунок 3 – Схема передачи информации с информационных баз дороги о работе участков ТОР в ИАС «ТОР-Финанс»

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дементьев, А.П. Локальная информационная система оценки качества работы ПТО и МППВ / А.П. Дементьев, Д.Н. Лосев, В.Д. Макогон // Вагоны и вагонное хоз-во. -2008. -№1. - С. 39-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагонное хозяйство, единая нормативная база, стоимость ремонта, собственники грузовых вагонов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Константинова Вера Александровна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
Галтер Валерия Валерьевна, преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАЛОГОВЫХ ПЛАТЕЖЕЙ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.А. Щербаков, В.В. Ярыгин, Ю.В. Журавлева

THE ANALYSIS OF ECONOMIC SUSTAINABILITY OF THE TRANSPORT ORGANIZATION IN THE CORRELATION OF TAXES PAYS

«Siberian state transport university»
V.A. Sherbakov, V.V. Yargin, Yu.V. Zhuravleva

The article reveals with the correlation of economic sustainability and taxes pays; analyses the efficient of taxes policy and its influence on the economic sustainability.

Рассматривается зависимость экономической устойчивости предприятия от величины налоговых платежей, анализируется эффективность налоговой политики и ее влияние на экономическую устойчивость предприятия.

Экономическая устойчивость предприятия определяется главным образом объемом собственного капитала предприятия, который в значительной степени зависит от величины налогов. В конечном счете, налоговые платежи уменьшают размер его капитала. Поэтому каждым предприятием должны активно использоваться легальные возможности минимизации налоговых платежей с тем, чтобы обеспечить увеличение размера чистой прибыли, а соответственно и ресурсов для увеличения размера собственного капитала.

Проблема минимизации налоговых платежей с целью увеличения размера капитала предприятия, в значительной степени решается путем формирования эффективной налоговой политики.

Формирование эффективной налоговой политики предприятия должно базироваться на

следующих основных принципах:

1 Строгое соблюдение действующего налогового законодательства (то есть уплата налогов в соответствии с реальными финансовыми результатами деятельности предприятия).

2 Минимизация налоговых платежей всегда должна быть направлена на качественный и количественный рост величины собственных активов, в первую очередь капитала предприятия.

3 Поиск и использование наиболее эффективных хозяйственных решений, обеспечивающих минимизацию базы налогообложения в процессе хозяйственной деятельности.

4 Оперативный учет изменений в действующей налоговой системе.

5 Плановое определение сумм предстоящих налоговых платежей. В основу такого планирования должны быть положены целевая сумма капитализируемой части прибыли, планируемые объемы доходов и затрат и другие показатели развития деятельности предприятия в предстоящем периоде [1].

Процесс формирования налоговой политики предприятия осуществляется по следующим основным этапам:

1 Выявление направлений хозяйственной деятельности предприятия, позволяющих минимизировать налоговые платежи за счет разных ставок налогообложения.

2 Выявление возможностей уменьшения базы налогообложения деятельности предприятия за счет использования прямых налоговых льгот.

3 Учет не прямых налоговых льгот в формировании налоговой политики предприятия. Состав не прямых налоговых льгот определяется возможностями уменьшения базы налогообложения при неизменных его ставках.

4 Учет региональных особенностей формирования налоговой политики предприятия. В процессе региональной диверсификации деятельности предприятий возникают возможности использования налоговых преимуществ, действующих на определенных территориях.

5 Оценка эффективности разработанной налоговой политики предприятия. Такая оценка осуществляется в процессе альтернативных ее вариантов с помощью системы соответствующих показателей. В качестве основных оценочных показателей можно использовать [2]:

а) *коэффициент налогового эффекта*. Он позволяет получить наиболее обобщенную характеристику избранной налоговой политики предприятия, показывая как соотносятся между собой показатели капитализируемой части прибыли и общей суммы налоговых платежей. Расчет этого показателя осуществляется в статическом (K_{es}) и динамическом (K_{ed}) вариантах [3]:

$$K_{ed} = \frac{\sum_{t=1}^n P_k (1+i)^{-t}}{\sum_{\tau=1}^m N(1+j)^{-\tau}}; K_{es} = \frac{P_k}{N}$$

где $P_k, \sum_{t=1}^n P_k (1+i)^{-t}$ – соответственно, сумма капитализируемой части прибыли предприятия в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

$N, \sum_{\tau=1}^m N(1+j)^{-\tau}$ – соответственно, общая сумма налоговых платежей в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

i – ставка банковского процента в период $t = \overline{1, n}$;

j – ставка банковского процента в период $\tau = \overline{1, m}$.

В частном случае, когда $t = \tau$, а $i = j$, расчет K_{ed} сводится к формуле расчета K_{es} .

б) *коэффициент налогообложения реализации продукции*. Позволяет определить общую сумму налоговых платежей, приходящихся на единицу объема реализованной продукции. Расчет этого показателя в статическом (K_{rs}) и динамическом (K_{rd}) вариантах осуществляется по формулам:

$$K_{rs} = \frac{N_r}{V_r}; K_{rd} = \frac{\sum_{t=1}^n N_r (1+i)^{-t}}{\sum_{\tau=1}^m V_r (1+j)^{-\tau}};$$

где $N_r, \sum_{t=1}^n N_r (1+i)^{-t}$ – соответственно, общая сумма налоговых платежей в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

$V_r, \sum_{\tau=1}^m V_r (1+j)^{-\tau}$ – соответственно, общий объем реализации продукции предприятием в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

в) *коэффициент налогообложения доходов*. Позволяет судить об уровне налогообложения доходов предприятия от других видов деятельности соответствующими видами налогов и сборов, входящими в цену продукции. Расчет этого показателя в статическом (K_{ds}) и динамическом (K_{dd}) вариантах осуществляется по формулам [3]:

$$K_{ds} = \frac{N_d}{D}; K_{dd} = \frac{\sum_{t=1}^n N_d (1+i)^{-t}}{\sum_{\tau=1}^m D (1+j)^{-\tau}},$$

где $N_d, \sum_{t=1}^n N_d (1+i)^{-t}$ – соответственно, общая сумма налоговых платежей, входящих в цену продукции в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

$D, \sum_{\tau=1}^m D (1+j)^{-\tau}$ – соответственно, общий объем доходов от иных видов деятельности предприятия в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

г) *коэффициент налоговой емкости затрат*. Характеризует отношение уровня налогов, относимых на себестоимость (финансовый результат), к общей сумме этой себестоимости (финансового результата). Расчет показателя осуществляется в статическом (K_{zs}) и динамическом (K_{zd}) вариантах по следующим формулам [3]:

$$K_{zs} = \frac{N_s}{Z}; K_{zd} = \frac{\sum_{t=1}^n N_s (1+i)^{-t}}{\sum_{\tau=1}^m Z (1+j)^{-\tau}},$$

где $N_s, \sum_{t=1}^n N_s (1+i)^{-t}$ – соответственно, общая сумма налоговых платежей, относимых на себестоимость (издержки) продукции в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

$Z, \sum_{\tau=1}^m Z (1+j)^{-\tau}$ – соответственно, общая сумма затрат (издержек) предприятия в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

д) *коэффициент налогообложения прибыли*. Характеризует уровень налогов, уплачиваемых за счет валовой прибыли предприятия. Расчет этого показателя в статическом (K_{ps}) и динамическом (K_{pd}) вариантах осуществляется по следующим формулам:

$$K_{ps} = \frac{N_p}{P_v}; K_{pd} = \frac{\sum_{t=1}^n N_p (1+i)^{-t}}{\sum_{\tau=1}^m P_v (1+j)^{-\tau}},$$

где $N_p, \sum_{t=1}^n N_p (1+i)^{-t}$ – соответственно, общая сумма налоговых платежей, осуществляемых за счет валовой прибыли в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

$P_v, \sum_{\tau=1}^m P_v (1+j)^{-\tau}$ – соответственно, общая сумма валовой прибыли предприятия в недисконтированном и дисконтированном вариантах;

е) *коэффициент эффективности использования налоговых льгот*. Коэффициент позволяет судить и об эффективности использования льгот по отдельным видам налогов. Формула расчета этого показателя для статического случая имеет следующий вид [3]:

$$K_{is} = \frac{N_i}{(N_i + N)},$$

где K_{is} – коэффициент статической эффективности использования налоговых льгот в деятельности предприятия;

N_i – общая сумма налоговых льгот, используемых предприятием в процессе осуществления деятельности;

N – общая сумма налоговых платежей.

Динамический вариант расчета предусматривает получение оценок:

а) по методу дисконтирования потоков платежей

$$K_{id} = \frac{\sum_{t=1}^n N_i (1+i)^{-t}}{\sum_{t=1}^n N_i (1+i)^{-t} + \sum_{\tau=1}^m N (1+j)^{-\tau}};$$

б) по методу наращенных сумм

$$K_{id} = \frac{\sum_{t=1}^n N_i (1+i)^t}{\sum_{t=1}^n N_i (1+i)^t + \sum_{\tau=1}^m N (1+j)^\tau}.$$

Выбор метода определяется временной точкой отсчета эффективности использования налоговых льгот и задачами налогового планирования.

Для проведения комплексной (интегральной) оценки эффективности (E_{np}) сформулированной налоговой политики (величины налогового потенциала) предприятия необходимо приведение разработанных показателей к сопоставимому виду. Предлагается следующая формула [4]

$$E_{np} = \left(\prod_{i=1}^6 L_i \right)^{1/6},$$

где $L_1 - L_6$ – коэффициенты приведения оценочных показателей налогового эффекта, налогообложения продукции, налогообложения доходов, налоговой нагрузки затрат, налогообложения прибыли, использования налоговых льгот соответственно к базовому показателю ($N = \overline{1, p}$),

$$L_1 = \frac{K_e}{K'_e}; L_2 = \frac{K_r}{K'_r}; L_3 = \frac{K_d}{K'_d}; L_4 = \frac{K_z}{K'_z}; L_5 = \frac{K_p}{K'_p}; L_6 = \frac{K_l}{K'_l},$$

где $K'_e, K'_r, K'_d, K'_z, K'_p, K'_l$ – базовые коэффициенты налогового эффекта, налогообложения реализации, налогообложения доходов, налоговой нагрузки затрат, налогообложения прибыли, эффективности использования налоговых льгот соответственно [2].

Таким образом, экономическая устойчивость предприятия обеспечивается, в том числе и эффективной системой управления налоговыми платежами. Управление налоговыми платежами заключается в формировании адекватной действующей налоговой системы налоговой политики предприятия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Современные проблемы экономики, организации и управления предприятиями промышленности / В.А. Щербаков [и др.]; отв. ред. К.Т. Джурабаев. -Новосибирск: МАН, 2000. - 185 с.

2 Щербаков, В.А. Региональная налоговая диверсификация транспортных организаций в целях эффективного финансового планирования их деятельности // Беринговский межконтинентальный транспортный коридор в развитии Чукотки: вчера, сегодня, завтра. - Новосибирск; Анадырь, 2001. -С. 468-480.

3 Щербаков, В.А. Морфологическое моделирование и экономическая оценка налоговой политики предприятия / В.А. Щербаков // Проблемы эффективной организации производства и приоритеты инвестиционной политики. -Новосибирск, 2000. -С. 370-372.

4 Экономика. Организация производства. Менеджмент: (опыт, проблемы, перспективы): монография / В.А. Щербаков [и др.]. -Новосибирск, 2001. -259 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономическая устойчивость, оптимизация налогообложения, коэффициент налоговой нагрузки, коэффициент затрат, коэффициент налогового эффекта

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
Ярыгин Владимир Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
Журавлева Юлия Владимировна, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ПРОБЛЕМЫ КАЛЬКУЛИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ТЕКУЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина

PROBLEMS OF ACCOUNT OF COST OF WORKS ON CURRENT OPERATION OF THE WAY FOR BUDGETING
«Siberian state transport university»

T.A. Lunina

Planning of costs for the current contents of a way should be carried out on the basis of accounting of corresponding measuring instruments. Introduction of system of account of cost of travelling works and its use for budgeting in connection with variety of kinds of works and external factors difficult enough process requiring automation of accounts.

Планирование расходов на текущее содержание пути должно осуществляться на основе калькуляции соответствующих измерителей. Внедрение системы калькулирования путевых работ и использования ее для бюджетирования в связи с многообразием видов работ и внешних факторов довольно сложный процесс, требующий автоматизации расчетов.

Тенденция роста хозяйственной самостоятельности подразделений, выполняющих разные виды деятельности железнодорожного транспорта, ведет к изменению характера внутрикорпоративных экономических отношений структурных подразделений, как с вышестоящими органами, так и с вновь образуемыми структурами. Изменение экономико-правового статуса подразделений путевого хозяйства, вошедших в дирекцию по ремонту пути, диктуют необходимость адекватных изменений порядка формирования экономических результатов дистанций пути, оставшихся в настоящее время в экономико-правовом поле железной дороги.

Основной проблемой при определении расходов является широкая номенклатура работ по текущему содержанию пути, наличие влияние на расходы большого количества факторов, учитывающих конкретные условия эксплуатации (типы верхнего строения пути, грузо-напряженность, скорости движения, климатические условия, особенности плана и профиля пути и т.д.), отсутствие единого измерителя объема работ по текущему содержанию пути. Планирование расходов на текущее содержание пути может осуществляться на основе необходимых объемов работ по каждому виду и соответствующих единичных стоимостей, которые можно определить только с помощью калькуляций.

Калькулирование работ по содержанию пути задача весьма объемная. В ходе процесса проектирования методики бюджетирования на основе единичных стоимостей выделены некоторые, на наш взгляд, весьма существенные вопросы.

Первый – связан с самим методическим подходом, можно ли путем простого умножения себестоимости на объем работ получить плановый объем затрат или сформировать право расходов. Признаем, что рассчитать калькуляцию задача вполне посильная, а вот использовать ее в качестве базового элемента планирования всех расходов представляется проблематичным. Надо четко определить, какая часть расходов точно связана с таким методом расчета.

Сложность предлагаемой системы формирования бюджета затрат заключается в первую очередь в том, что формирование программы работ по текущему содержанию пути базируется на периодических комиссионных осмотрах пути и искусственных сооружений и можно реально говорить лишь о месячном (в лучшем случае квартальном) плановом периоде.

Еще одной проблемой предлагаемой системы является то, что в программу работ по текущему содержанию включаются, как известно, работы по ликвидации неотложных неисправностей, угрожающих безопасности движения.

И затраты по этой группе работ не могут планомерно калькулироваться и должны включаться в бюджет дистанции отдельной строкой и «право» по ним должно определяться в размере фактических расходов.

По первоочередным и планомерно-предупредительным работам можно планировать производственную программу в натуральных единицах, то есть определять объем работ, и определять расходы согласно скалькулированной себестоимости этих работ (полной или в части зависящих от объема работы затрат). Эти расходы составляют в бюджете прямых затрат по текущему содержанию пути менее половины.

Калькулироваться будут расходы только по статьям 2101 – текущее содержание пути и постоянных устройств, 2102 – одиночная смена материалов верхнего строения пути, 2104 – содержание искусственных сооружений и некоторые другие расходы, например, содержание лесозащитных насаждений.

Теперь о самой калькуляции. Для целей планирования затрат возможна разработка базовой калькуляции (только прямых затрат) или полной, с учетом накладных. Основные шаги ее разработки:

- Выбор измерителя (большое число);
- Калькулирование прямых затрат (нормы ресурсов);
- Распределение накладных расходов (что выбрать за базу, подходит ли стандартная база – заработная плата прямых расходов).

В связи с этим возникает *второй* блок вопросов связанный с выбором измерителя. Основной проблемой при определении измерителей является отсутствие единого измерителя объема работ по текущему содержанию пути и очень широкая номенклатура путевых работ. Для некоторых структурных подразделений может фиксироваться по несколько десятков и даже сотен. Номенклатура работ в целях планирования и финансирования должна быть агрегирована и число калькулируемых измерителей доведено до разумной величины.

В связи с этим необходимо определить принципиальный подход к укрупнению видов работ и здесь имеет место несколько вариантов. Например, так как в общей сумме затрат на текущее содержание пути большую часть составляют расходы связанные с оплатой труда, то один из вариантов выделения укрупненных видов работ может быть основан на группировке типовых норм времени на работы по текущему содержанию пути (Москва, 1998 г. Сборник типовых технически-обоснованных норм времени на работы по текущему содержанию пути), а именно:

- работы по балласту;
- работы по шпалам;
- работы по рельсам и скреплениям;
- работы по стрелочным переводам;
- погрузочно-разгрузочные и транспортные работы;
- работы по путевым знакам, переездам и др.;
- работы по исправлению пути на пучинах.

Однако, каждая из данных групп, содержит значительный перечень работ, объемы которых могут выражаться различными измерителями (Например – работы по балласту содержат 25 типовых норм, в качестве измерителей используются 1000 или 10 шпал, 100 м пути, 100 м³ балласта и т.д.). Укрупнение работ может производиться также и с учетом комплексности выполнения (перечень операций на основе техпроцесса) и использования одинаковых измерителей объема или возможности их пересчета.

Третий блок проблем связан с расчетом прямых затрат в разных условиях работы не только железных дорог, но и дистанций пути на одной дороге. При формировании бюджета затрат с использованием калькуляций вряд ли можно ориентироваться на среднесетевые или среднedorожные нормативы расходов, так как удельные затраты на важнейшие измерители работы в очень большой степени зависят от условий работы и технико-экономической характеристики каждой дистанции пути.

Расчёты, проведенные на Западно-Сибирской дороге сотрудниками кафедры «Экономика транспорта» СГУПС в связи с апробацией системы единичного нормирования эксплуатационных расходов, показали, что даже после освобождения затрат от регионального регулирования заработной платы, амортизации и затрат на капитальный ремонт, удельные затраты (руб./прив. км) на охрану пути, переездов и искусственных сооружений; на содержание лесонасаждений, снегоборьбу и прочие работы имеют размах вариации, превышающий 400%. А удельные затраты (руб./млн. ткм бр) на текущее содержание пути и постоянных

устройств, одиночную смену материалов верхнего строения пути и содержание искусственных сооружений имеют отношение максимального значения к минимальному превышающие 1000%.

Попытки сократить вариацию удельных затрат путём группировки дистанций пути по какому-нибудь характерному признаку положительных результатов не дали. Размах вариации удельных затрат в каждой группе оставался в лучшем случае на уровне 70%. Встает вопрос, рассчитанную калькуляцию можно применять там, где она определена, либо распространить на сеть, или на группу дорог. Или использовать как базовый элемент для каждой дистанции и пересчитывать ежегодно.

Четвертый блок – связан с проблемами организации, нормирования и оплаты труда в путевом хозяйстве. Департаментом пути и другими причастными структурами проделана огромная работа по созданию методик и конкретных нормативов затрат труда почти на все виды путевых работ. Калькулирование себестоимости работ по текущей эксплуатации пути связаны с проблемой затрат труда напрямую. Но эти затраты, также как и остальные виды затрат на эксплуатацию пути, слишком разнятся даже на соседних километрах, не говоря уже о разных дистанциях, отделениях и дорогах. В связи с этим при корректном калькулировании эксплуатационной работы придется создавать, при этом постоянно пересматривать, большой массив местных, привязанных к реальным условиям, норм затрат труда.

Иными словами, заложенная в плановые калькуляции заработная плата должна быть легитимной, то есть и опираться на утвержденные нормы, и она должна быть скорректирована на местные условия. Ну и вообще, она должна быть достаточной, чтобы люди хотели и шли в путевое хозяйство.

Внедрение системы калькулирования путевых работ и использования ее для планирования в связи с многообразием видов работ и внешних факторов, влияющих на них без автоматизации расчетов представляется довольно сложной.

Работающая в настоящее время АСУ «Путь» имеет достаточно большую информационную базу, которая не всегда в достаточной степени используется для экономических и управленческих целей и интеграция с АСУ «Путь» локальной программы калькулирования затрат позволила значительно упростить расчеты.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *затраты, измерители, калькуляция, себестоимость, бюджеты, путевое хозяйство, путевые работы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина, О.В. Речкунова

RESEARCH OF PECULIARITIES OF THE TECHNOLOGICAL PROCESS INFLUENCE ON DIRECT COSTS AT MAINTENANCE SUBDIVISIONS OF THE WAGON ENTERPRISE
«Siberian state transport university»
T.A. Lunina, O.V. Rechkunova

Peculiarities of technological processes are determinative for direct material and labour costs generation at the maintenance centres for freight wagons.

Особенности технологических процессов являются определяющими при формировании прямых материальных и трудовых затрат пунктов технического обслуживания грузовых вагонов.

Проблема формирования бюджетов затрат ОАО «Российские железные дороги» обусловлена не только территориальным разделением компании и иерархичностью структуры управления, но и разнообразием производственных процессов и сфер деятельности. Формирование бюджета затрат дорог и предприятий осуществляется по разным видам деятельности. Распределение бюджета затрат «сверху-вниз» не позволяет полностью учесть специфику каждого вида деятельности и ставит структурные подразделения в жесткие, не всегда обоснованные расчетом, рамки исполнения бюджета. В частности перерасход бюджетных средств на уровне структурных подразделений может быть вызван совсем не их неэф-

фективной работой, а несовершенной методикой планирования. Особенности технологических процессов являются определяющими при формировании прямых материальных и трудовых затрат, но слабо учитываются при планировании бюджетных средств. Формирование прогнозных бюджетов должно носить характер эскалации «снизу-вверх», что позволит отразить технологические особенности структурных подразделений при формировании бюджета прямых затрат.

Анализ итогов производственно-хозяйственной деятельности предприятий вагонного хозяйства за период проведения его структурной реформы показал, что в эксплуатационном секторе вагонного хозяйства около 50% расходов приходится на долю пунктов технического обслуживания грузовых вагонов (ПТО). Статистическая выборка проведена по всем вагонным депо Западно-Сибирской железной дороги филиала ОАО «Российские железные дороги». Доля прямых затрат в расходах ПТО составляет в среднем 73%.

Расчет прямых затрат базируется на нормативах пооперационных затрат и, следовательно, совершенствование нормативов влечет за собой реальное, более точное, определение и затрат труда, и материальных затрат. Регулирование прямых затрат на уровне структурных подразделений сводится к приведению трудоемкости работ, норм времени, нормативов численности и материалов к уровню, обусловленному технологией выполнения работ.

Анализ технологических процессов ПТО грузовых вагонов и пооперационных нормативных баз показал, что их можно разделить на две составляющие: постоянную, связанную с осмотром вагонов, и переменную, связанную с ремонтом. Такой подход позволяет проанализировать взаимосвязи между объемами работ, качеством подвижного состава и расходами, сформированными по окончании отчетного периода, что в дальнейшем позволит точнее прогнозировать прямые трудовые и материальные затраты по каждому структурному подразделению вагонного хозяйства.

Таким образом особенности технологических процессов являются определяющими при формировании прямых материальных и трудовых затрат, но слабо учитываются при планировании бюджетных средств.

Технология выполнения технического обслуживания вагонов зависит от многих факторов:

- расположения ПТО (парк прибытия, парк отправления на сортировочных станциях, участковые станции, грузовые станции массовой погрузки, выгрузки грузов);
- организации труда (комплексная бригада с совмещением профессии осмотрщика вагонов и слесаря по ремонту подвижного состава или без совмещения);
- организационно-технических условий на производственных участках и рабочих местах;
- применения специального оборудования и оснастки, способствующих повышению производительности труда;
- длины поезда в вагонах;
- длины гарантийного участка;
- типа вагона и др.

Пооперационный состав нормативной базы прямых затрат напрямую связан с особенностями технологического процесса на каждом конкретном ПТО или ППВ, который в свою очередь зависит от фактически выполняемого объема (частоты повторяемости) работ. При этом качество технического обслуживания и подготовки вагонов должно гарантировать безопасность движения и проследование поездов без отцепок в пределах гарантийного участка. Натурная проверка технологии осмотра и ремонта полувагонов на полигоне Западно-Сибирской железной дороги позволила классифицировать и сгруппировать пункты технического обслуживания вагонов в соответствии с особенностями технологического процесса. По расположению были выделены три основные группы ПТО:

- расположенные на грузовых станциях массовой погрузки, выгрузки грузов;
- расположенные на сортировочных станциях;
- расположенные на участковых станциях.

ПТО первой группы характеризуются небольшими объемами работ (до 400 вагонов в сутки) и выполнением работ по подготовке вагонов к перевозке и наличием сварочного оборудования. На ПТО сортировочных станций, где проследует более 4000 вагонов в сутки, имеется специализированная оснастка, и работают комплексные бригады без совмещения профессии осмотрщика вагонов и слесаря по ремонту подвижного состава. На ПТО участко-

вых станций нет специализированного оборудования и оснастки, и работают комплексные бригады с совмещением профессии осмотрщика вагонов и слесаря по ремонту подвижного состава.

ПТО сортировочных и участковых станций обслуживают только проследовавшие вагоны и подготовкой вагонов к перевозке не занимаются. Таким образом, по видам выполняемых работ можно выделить еще три группы ПТО:

- занятые обслуживанием проследовавших вагонов;
- занятые подготовкой вагонов под погрузку;
- занятые обслуживанием проследовавших вагонов и подготовкой вагонов под погрузку.

Исследование зависимости количества обслуженных вагонов и затрат на оплату труда на осмотр с 2005 года по настоящее время, с использованием выходных форм и результатов работы Информационно-аналитической системы «Бюджетирование прямых затрат ПТО», разработанной НИЛ «Экономика транспорта» СГУПС, показало, что доля этих затрат, зависящих от объема работы на ПТО, занятых подготовкой вагонов и со смешанными работами, колеблется от 48,7% до 95,8% в зависимости от технологии осмотра в парках и на станциях, коэффициент корреляции составил 0,92. Доля материальных затрат этих же пунктов технического обслуживания, независимых от объемов работы составляет всего от 0,36 до 2,2%, коэффициент корреляции уже 0,97.

Деление ПТО на технологические группы по видам выполняемых работ и оценка взаимосвязи объема и удельных затрат материалов и трудовых ресурсов в ПТО, занятых только обслуживанием проследовавших вагонов показало отсутствие по этой группе тесной взаимосвязи затрат и объемов. При проведении трендового анализа установлен уровень вероятности линейной зависимости для заработной платы 81,4%, а для материалов всего 41,4%. В связи с этим потребовалась дальнейшая группировка расходов.

Форма оплаты труда и методика начисления заработной платы на предприятиях технического обслуживания вагонов предполагает наличие устойчивой доли постоянных расходов по оплате труда и довольно значительных переменных расходов. Несмотря на то, что форма оплаты – повременно премиальная, премия начисляется в зависимости от объема работ, выполняемых на вагоне. И численность работников ПТО имеет условно постоянный характер только в пределах деловой активности подразделения.

Типовыми нормами оперативного времени и нормативами численности работников на пунктах технического обслуживания грузовых вагонов, установленными МПС в 1997 году для оперативного времени при подготовке полувагонов, платформ к перевозкам предусмотрены два измерителя работы – поезд, вагон. Это касается рабочих всех профессий, участвующих в процессе подготовки: осмотрщика – ремонтника вагонов, осмотрщика вагонов, слесаря по ремонту подвижного состава, электросварщика ручной сварки и др. На пунктах технического обслуживания вагонов, расположенных на сортировочных и участковых станциях, нормы оперативного времени установлены на один поезд и в парках приема и в парках отправления для всех профессий и форм организации труда. Местные нормы времени, проектируемые для формирования полной базы бюджетов прямых затрат установлены на работы, производимые на одном вагоне. Все эти факторы говорят о наличии тесной корреляционной связи объемов и затрат на оплату труда.

Материальные затраты по исследуемым группам ПТО зависят от объема работы в большей степени. Хотя по некоторым группам ПТО, например выполняющих работы по подготовке вагонов,

Таблица – Коэффициенты корреляции объемов работы и прямых затрат пунктов технического обслуживания

Расположение пунктов технического обслуживания	Коэффициенты корреляции	
	для затрат на оплату труда	для материальных затрат
На сортировочных станциях	0,954	0,967
На участковых станциях	0,999	0,999
На грузовых станциях с подготовкой вагонов	0,915	0,974
На грузовых станциях с обслуживанием проследовавших вагонов	0,973	0,931

может наблюдаться довольно большая доля постоянных расходов. Это объясняется тем, что величина расходов на материалы устанавливается на один вагон в соответствии с набором работ фактически выполненных на вагоне. Перечень работ, в свою очередь, зависит от уровня изношенности вагона, качества погрузо-разгрузочных работ, качества депоовского

и капитального ремонта.

Проведенные расчеты линейной зависимости объема и затрат для каждой из группировок показали высокую тесноту связи этих показателей (коэффициент корреляции от 0,91 до 1,0) и, следовательно, возможность использования постоянных и удельных переменных расходов для составления прогнозных бюджетов. В таблице представлены результаты расчетов по исследованию линейной зависимости «объем-затраты» для всех групп ПТО.

Таким образом, формирование прямых затрат ПТО зависит от технологических особенностей выполняемых работ и расположения на сети. Нормативы и точный учет всех выполняемых работ обеспечивает обоснованное использование материальных и трудовых ресурсов для каждого структурного подразделения эксплуатационного сектора вагонного хозяйства. Расчеты прямых затрат, основанные на нормативных базах, учитывающих технологию обслуживания вагонов, значительно упрощают бюджетные процедуры, уточняют бюджеты конкретных ПТО, позволяют связать затраты и объемы работ и, следовательно, обеспечивают адресный подход к планированию затрат.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагонное хозяйство, пункты технического обслуживания грузовых вагонов, технологические процессы, прямые затраты

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лунина Татьяна Аркадьевна, канд. экон. наук, доцент ГОУ ВПО «СГУПС»
Речкунова Ольга Владимировна, канд. экон. наук, ст. преподаватель ГОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ЗАТРАТ И РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПНОГО РЕМОНТА СОБСТВЕННИКОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.П. Дементьев

PROBLEMS OF COST ACCOUNTING AND RESULTS OF UNCOUPLING MAINTENANCE AND REPAIR FOR PROPRIETORS OF FREIGHT WAGONS WITH JOINT STOCK COMPANY RUSSIAN RAILWAYS

Siberian state transport university

A.P. Dementiev

The problems of relationship between joint stock company russian railways and companies operating in the market of transportation services have been considered.

Рассмотрены проблемы взаимоотношений ОАО «Российские железные дороги» с компаниями, работающими на рынке транспортных услуг.

В связи с вовлечением частного капитала в сферу железнодорожного экспедирования и оперирования подвижным составом, за последние два года количество компаний собственников – владельцев подвижного состава увеличилось в 3,2 раза и составило более 2500. На данный момент динамика увеличения компаний – собственников подвижного состава остается стабильной, что, в свою очередь, обеспечивает развитие реальной конкуренции в области предоставления транспортных услуг [1].

Одним из основных требований компаний-собственников грузовых вагонов к условиям осуществления перевозочного процесса грузов является обеспечение устойчивой и безопасной эксплуатации подвижного состава с целью соблюдения сроков доставки грузов при оптимальном объеме затрат. В целях своевременной ликвидации случаев неисправностей узлов грузового вагона в пути следования производится отцепка неисправного вагона для последующего текущего отцепочного ремонта в эксплуатационных вагонных депо. Данный вид ремонта обеспечивает устранение выявленных неисправностей в пути следования и проведение работ, связанных с предупреждением возникновения иных причин неисправностей грузового вагона за минимальный промежуток времени без перевода вагона в нерабочий парк.

В вагонной составляющей тарифа на перевозки не включена стоимость работ по текущему отцепочному ремонту, поэтому собственник – владелец подвижного состава производит оплату выполненных работ дополнительно по заключенным с филиалами ОАО «РЖД» договорными обязательствами.

В соответствии с теорией ценообразования стоимость работ и услуг формируется с учетом полного покрытия расходов, связанных с выполнением этих работ, услуг и рента-

бельности к расходам. Показатель рентабельности устанавливается не ниже уровня, предусмотренного в целевых параметрах бюджетов дорог по позиции «прочие продажи» для расчетного года, утвержденного решением итогового заседания правления ОАО «РЖД» на текущий год. В связи с разделением функций вагонного хозяйства на ремонтную и эксплуатационную составляющие ремонт запасных частей для текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов как парка ОАО «РЖД», так и собственности других предприятий производится в дорожных дирекциях по ремонту грузовых вагонов. В соответствии с учетной политикой ОАО «РЖД» и в условиях межфилиальных отношений дорожные дирекции ремонта грузовых вагонов представляют службам вагонного хозяйства полную себестоимость ремонта запасных частей, в состав которой входят прямые и накладные расходы без учета уровня рентабельности вагоноремонтных депо. Эксплуатационные вагонные депо включают данную себестоимость в калькуляцию на проведение текущего отцепочного ремонта грузовых вагонов. Таким образом, цена ремонта формируется исходя из общих затрат ремонтных и эксплуатационных вагонных депо с учетом рентабельности, исключая ее повторный счет. В соответствии с действующими в ОАО «РЖД» нормативными документами в калькуляцию стоимости проведения работ по текущему отцепочному ремонту включают сборы за подачу уборку частных вагонов, маневровые работы.

При передаче подвижного состава в собственность компаний- собственников подвижного состава, затраты на текущий отцепочный ремонт, ранее относимые на перевозочную деятельность, согласно действующих правил Учетной политики ОАО «РЖД», бухгалтерского и налогового учета, учитываются в расходах прочей деятельности. Эта деятельность, в свою очередь, должна обеспечивать необходимый уровень рентабельности, что является показателем безубыточности и стабильности развития производства.

В январе 2007 г. распоряжением ОАО «РЖД» утверждена примерная форма договора на выполнение работ по текущему отцепочному ремонту грузовых вагонов. Эта форма обеспечила унификацию оформления договоров на выполнение таких работ, заключаемых от имени ОАО «РЖД» на уровне дорог – филиалов ОАО «РЖД». Начальники дорог и собственники подвижного состава вправе заключить договор на выполнение работ по текущему отцепочному ремонту. Он предусматривает выполнение работ как в одном депо, так и во всех эксплуатационных депо дороги. Следует учитывать, что в зависимости от конкретных договоренностей в примерные формы договоров возможно внесение изменений и дополнений. В последнее время сложилась такая практика, что при заключении договоров оговариваются условия, при которых владельцы частных вагонов должны предоставлять вагоноремонтным предприятиям собственный оборотный запас узлов и деталей, в том числе колесных пар, надрессорных балок, боковых рам, необходимых для ремонта грузовых вагонов. Одним из важнейших условий договорных отношений между ОАО «РЖД» и собственниками подвижного состава (это предусмотрено примерной формой договора) является наличие предоплаты за выполнение работ по текущему отцепочному ремонту.

При производстве текущего отцепочного ремонта собственных вагонов на железных дорогах имеются факты мотивированного отказа от оплаты за произведенный ремонт, несвоевременной оплаты ремонта по выставленным счетам – фактурам, что приводит к возникновению дебиторской задолженности.

В целях решения данных проблем неоднократно рассматривалась возможность разработки и осуществления мероприятий, направленных на безубыточную и стабильную прочую деятельность предприятий вагонного хозяйства в работе с компаниями – собственниками подвижного состава, а именно:

- повышение достоверности передаваемой информации об отцепках частных вагонов в текущий ремонт;
- минимизация необоснованных отцепок частных вагонов в текущий ремонт;
- обеспечение своевременного предоставления компании- собственнику необходимого пакета документов на выполненный текущий отцепочный ремонт;
- сокращение длительности простоя вагона в неисправном состоянии за счет сокращения времени на информирование компании – собственника грузового вагона об отцепке в ремонт;
- гибкое регулирование ценовой политики стоимости текущего отцепочного ремонта вагонов частных компаний.

Для оперативного и достоверного учета выполненных отцепочных ремонтах, формирования пакетов документов для собственников грузовых вагонов на Западно-Сибирской же-

лезной дороги разработана информационно-аналитическая система «ТОР-Финанс». Проблемами при создании информационно-аналитических систем управления затратами, к которым относится ИАС «ТОР-Финанс», являются:

- различные источники ввода информации и недостаточная интеграция разнородных информационных систем для формирования единой базы данных;
- отсутствие полной сопоставимости между показателями в различных информационных системах;
- отсутствие полноты и недостаточная актуальность норм расхода ресурсов вследствие изменений в технике и технологии.

При проектировании ИАС «ТОР-Финанс» были учтены вышеперечисленные проблемы. В результате данная информационно-аналитическая система позволяет произвести унификацию расчетов с заказчиком за ремонт вагонов и систематизировать взаимоотношения с ремонтными вагонными депо в части обеспечения отремонтированными узлами вагона, значительно снизить сроки уведомления собственника вагона об отцепке в ремонт, проведение предоплаты за оказанные услуги, и, как следствие, своевременно (в суточный срок) сформировать пакет документов для выставления счетов к оплате за выполненные работы и снизить простой и остаток неисправных вагонов в ремонте.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Программа структурной реформы на железнодорожном транспорте [Электронный ресурс]: постановление Правительства Рос. Федерации от 18 мая 2001 г. №384 (в ред. Постановлений Правительства РФ от 20.12.2004 №84, от 22.07.2009 №600). -Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вагонное хозяйство, компании-собственники подвижного состава, затраты на текущий отцепочный ремонт

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Дементьев Алексей Петрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г. Новосибирск, ул. Д.Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»

ОПТИМИЗАЦИЯ УЧАСТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕПРОВОДА «ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ-ТИХИЙ ОКЕАН»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.А. Виниченко

ECONOMIC ANALYSIS OF THE EFFICIENCY BY RIVER SHIPPING FOR THE DEVELOPMENT OF PETROLEUM TRANSPORT SYSTEM «EAST SIBERIA-PACIFIC OCEAN»
«Novosibirsk state academy of water transport»
V.A. Vinichenco

Economic analysis and optimization modeling of the efficiency by river shipping, freight, choice of the points off-load on the Lena river or the development of East Siberian oilfields.

Выполнен экономический анализ, оптимизация эффективности речных перевозок, выбор числа пунктов выгрузки на реке Лены при развитии Восточных сибирских месторождений нефти.

Создание магистрального нефтепровода «Восточная Сибирь-Тихий океан» (ВСТО) – важнейший нефтетранспортный проект, предусмотренный «Стратегией развития Сибири», утвержденный Правительством РФ. Трасса нефтепровода проходит за водоохранной зоной озера Байкал – в значительной части по левому берегу реки Лены, что предопределяет возможность широкого использования речного транспорта для доставки труб, техники и других грузов, требующихся для строительства

В 2007 г. общая заявка на перевозки грузов для этих целей составила более 1,1 млн. т, которые требовалось выгрузить по маршруту трассы нефтепровода в среднем течении реки Лены в основном в местах, не имеющих стационарных подходов и причалов. Освоением этих перевозок занимались такие крупные предприятия, как ОАО «Ленское объединенное речное пароходство», ОАО «Осетровский речной порт», ОАО «Киренский речной порт», ОАО «Киренская РЭБ флота», ООО «Осетровская судоходная компания», ООО «Викинг» и др., а также ФГУ «Ленское государственное бассейновое управление водных путей и судоходства» (ЛГБУВПиС).

В 2008 г. потребность в перевозках превысила 120 тыс. т с постепенным расширением зоны завоза по ходу строительства трубы до Алдана. Масштаб задач, которые надо решить в ближайшие годы строителям нефтепровода и речникам Ленского бассейна, практически сопоставим с тем, что было выполнено при освоении Западно-Сибирских нефтяных месторождений. Добычу нефти в Восточной Сибири намечается довести к 2020 г. до 100-105, а к 2030 г. – до 120-130 млн. т. Впечатляют и перспективы газодобычи. Предстоит освоить Талаканское, Среднеботубинское, Чайндинское, Таас-Юряхское, Верхневилучанское, Алинское и др. месторождения, что в условиях почти полного отсутствия других магистральных видов транспорта настоятельно требует тесного сотрудничества и согласованного взаимодействия работников нефтегазового комплекса с организациями речного транспорта. При этом необходимо учитывать, что опыт использования речного транспорта, накопленный заказчиком и подрядчиками при освоении Западно-Сибирской нефти, практически не пригоден для условий Ленского бассейна по ряду объективных причин.

Во-первых, здесь совершенно иные гидрологические и русловые условия. Реки Обь-Иртышского бассейна в основном равнинные с медленным течением, илисто-песчаным грунтом и сравнительно устойчивым графиком уровенно-навигационного режима, что позволяет судам без большого риска подходить для выгрузки грузов к необорудованному берегу почти в любом месте.

В Ленском бассейне характер рек в основном горный с большими скоростями течения, с гравийными и скалистыми грунтами и резкими, плохо предсказуемыми колебаниями уровней воды (из-за дождевого питания), что обязательно требует предварительного обустройства водных подходов и хотя бы простейших причальных сооружений. Здесь многократно возрастает опасность аварий с днищами судов, и капитаны не имеют права подходить к необорудованному берегу.

Между тем, наметив на 2007 г. одиннадцать пунктов выгрузки труб и других грузов, заказчики и подрядчики строительства нефтепровода не заключили своевременно договоры о разработке к ним водных подходов с ЛГБУВПиС, вследствие чего имели место значительные простои флота, а некоторые суда даже вынуждены были возвращаться с грузом обратно.

Во-вторых, современная общеэкономическая ситуация разительно отличается от дореформенной и требует других подходов прежде всего к организации грузовой и коммерческой работы. Цена одной трубы теперь более 600 тыс. руб., то есть в 500-600 раз выше. Соответственно, значительнее и возможный ущерб от порчи и потери груза и ответственность за них. Поэтому опыт бесконтрольной выгрузки труб на необорудованный берег или даже просто в прибрежную акваторию, последствия которого до сих пор можно увидеть по берегам Оби и ее притоков, естественно не годится.

По ориентировочным оценкам создание водных подходов с навигационной обстановкой, сооружение простейших причальных устройств (в виде кустов деревянных свай) при использовании временных причалов и плавучих кранов с необходимым документированным коммерческим обслуживанием требует до 15-20 млн. руб. экономических издержек в расчете на каждый пункт за навигацию. Это – конечно, значительная сумма. Но если учесть, что только строительство каждого километра магистральной железной дороги обходится в 10 раз дороже и то, что общая стоимость труб, доставляемых одним судном за рейс, составляет около 100 млн. руб., то объективная необходимость такого обустройства не выглядит чрезмерной.

В средствах массовой информации и Internet в последнее время появляется много материалов о значительном удорожании строительства нефтепровода по сравнению с первоначальным проектом и взаимными претензиями участников. В значительной мере они вызваны отсутствием необходимого сотрудничества и недостаточной обоснованностью принимаемых решений.

Кроме отмеченного выше, обратим внимание на необходимость не произвольного, одностороннего, а обоснованного выбора количества и местоположения пунктов выгрузки, согласованного с организациями речного транспорта, прежде всего с ЛГБУВПиС.

Экономическое обоснование количества пунктов выгрузки грузов для строительства нефтепровода определим по минимуму суммарных экономических издержек по всем релевантным операциям, обеспечивающим доставку этих грузов для всего участка, запланированного к строительству на предстоящий плановый год (период).

Введем следующие обозначения:

- ℓ – общая протяженность годового освоения трассы строительства нефтепровода, км. Условно будем считать, что эта протяженность соответствует общей длине пробега автотранспорта по этой трассе, то есть $\ell = \ell^a$;
- ℓ^{pm} – общая протяженность судоходного водного пути между конечными пунктами трассы нефтепровода, осваиваемой строительством в анализируемом году, км. Обычно $\ell > \ell^{pm}$ из-за большой извилистости судового хода;
- k – порядковый номер намеченного пункта выгрузки грузов, доставляемых речным транспортом для целей строительства нефтепровода, $k = \overline{1, n}$;
- G – общая навигационная потребность грузов, доставляемых на трассу строительства (масса завоза), т;
- G_k – масса грузов, завозимых речным транспортом в соответствующий пункт выгрузки. Условно для упрощения математической формулировки задачи примем, что $G_k \approx C_m/n$, т;
- ℓ_0 – расстояние перевозки грузов речным транспортом от базисного порта отправления (или перевалки) до ближайшего граничного пункта трассы нефтепровода, намечаемой к строительству в анализируемом году, км.

Поскольку это расстояние является общим для всех завозимых грузов, издержки по транспортной работе речного флота на этом участке не будут зависеть от количества намечаемых пунктов выгрузки грузов по трассе строящегося нефтепровода. Они практически останутся одинаковыми (постоянными) при любом количестве этих пунктов, а, следовательно их можно считать нерелевантными (независящими) для рассматриваемой задачи.

Нерелевантными и независящими от количества пунктов выгрузки надо признать также большую часть переменных издержек по выполнению самой выгрузки грузов из речных судов на берег (таких, как оплата труда докеров-механизаторов с соответствующими начислениями, топливо для перегрузочных машин и др. переменные прямые затраты).

Релевантными и непосредственно зависящими от количества намечаемых пунктов выгрузки необходимо рассматривать в данной задаче только издержки по следующим операциям и объектам:

- перевозки грузов речным транспортом в пределах намеченного участка ℓ^{pm} от его начала (границы) до соответствующих пунктов выгрузки;
- развоз грузов автотранспортной техникой от соответствующих пунктов выгрузки из речных судов по ближайшим примыкающим к ним участкам трассы строительства нефтепровода по движущей составляющей транспортных затрат;
- обустройство водных подходов к соответствующему пункту выгрузки с созданием и содержанием судоходной обстановки, временных причалов, опорных баз коммерческого обслуживания для обеспечения приемо-сдаточных операций по грузам и др. составляющим;
- обустройство и содержание необходимой постоянной базы строителей нефтепровода в каждом намеченном пункте выгрузки грузов из речных судов.

Таким образом, итоговую функцию цели рассматриваемой оптимизационной задачи можно представить в следующем виде:

$$F = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^4 Z_{ik} \Rightarrow \min, \quad (1)$$

где Z_{ik} – экономические издержки по рассматриваемой i -ой операции в соответствующем k -ом пункте выгрузки грузов.

Поставленную задачу нахождения оптимального количества пунктов выгрузки можно решить, если представить функцию цели в общем математическом виде в зависимости от n , затем взять первую производную dZ и, приравняв ее к нулю, выявить аналитическое выражение для определения оптимального количества пунктов n .

Для облегчения математической формулировки введем следующие дополнительные условные допущения:

- количество завозимых грузов размещается по участкам трассы равномерно, пропорционально их протяженности;
- пункт выгрузки грузов из судов располагается посередине намечаемого к транспортному обслуживанию участка трассы нефтепровода;
- развоз грузов автотранспортной техникой производится в обе стороны от намеченного пункта разгрузки речных судов до границ соседнего участка трассы.

Схематическое изображение транспортных грузопотоков, возникающих по видам транспорта при различном количестве пунктов выгрузки, представлено на рисунке (сверху оси – завод речным транспортом, снизу – развоз автотранспортной техникой).

На этой схеме буквой А обозначен объем транспортной работы, соответственно по речному и автотракторному видам транспорта, в пределах рассматриваемого участка трассы l .

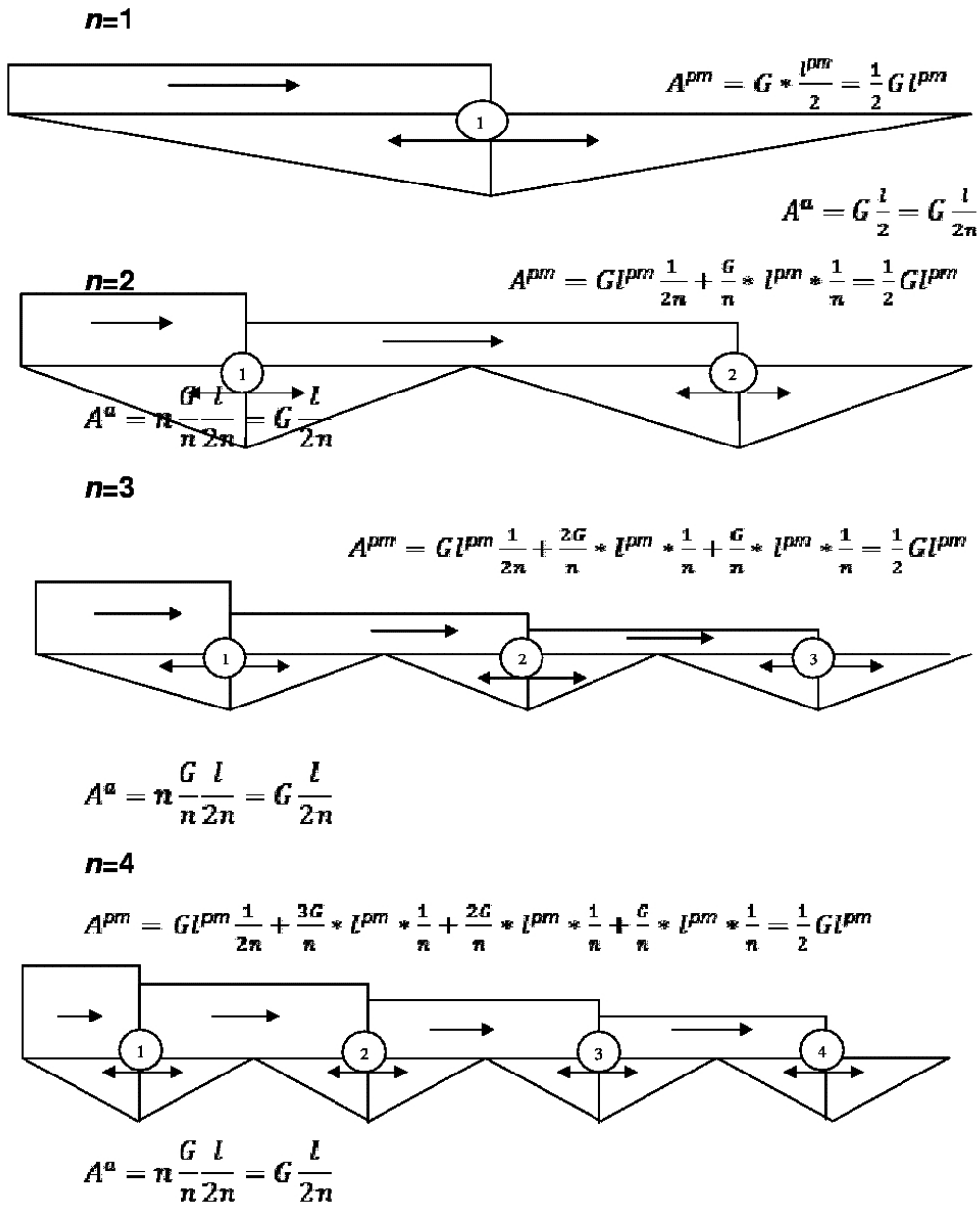


Рисунок – Схема формирования грузопотоков по обслуживанию строительства нефтепровода при разном количестве пунктов выгрузки

1 Общий грузопоток речного транспорта (сверху) от начала участка трассы до пункта 1 (см. рисунок) везде одинаков и равен G . После первого пункта и далее он уменьшается соответственно, до $\frac{n-1}{n}G$; $\frac{n-2}{n}G$; $\frac{n-3}{n}G$ и $\frac{n-n}{n}G$;

2 Грузопоток (снизу автотранспортом) в каждом пункте выгрузки одинаков и равен $\frac{G}{n}$;

3 Общая протяженность трассы по горизонтали во всех случаях одинакова;

4 Пункты выгрузки обозначены цифрами в окружности.

Из представленного рисунка наглядно видно, что грузооборот речного транспорта практически не зависит от количества пунктов разгрузки судов и во всех ситуациях составляет $\frac{1}{2} G l^{pm}$, поэтому издержки непосредственно по речным перевозкам можно исключить из рас-

смотрения, признав их также нерелевантными. А итоговая функция цели в зависимости от количества пунктов примет следующий вид

$$\sum z_n = \frac{Glc_{ам}}{2n} + n(c^{вп} + c^{эрк} + c_{пост}^{стп}), \quad (2)$$

где $c_{ам}$ – удельные издержки по движущей операции при развозе грузов с помощью автотракторной техники, руб./ткм;

$c^{вп}$, $c^{эрк}$, $c_{пост}^{стп}$ – средняя величина экономических издержек по обустройству и содержанию водных подходов и временных причалов, опорных баз коммерческого обслуживания и постоянных устройств базы строителей нефтепровода на один организуемый пункт выгрузки грузов, руб.

Первая производная от этого выражения составит

$$\sum z_n = \frac{Glc_{ам}}{2} \left(\frac{1}{n}\right)' + (c^{вп} + c^{эрк} + c_{пост}^{стп}) = -\frac{Glc_{ам}}{2} \left(\frac{1}{n^2}\right) + (c^{вп} + c^{эрк} + c_{пост}^{стп}) = 0, \quad (3)$$

Отсюда

$$n = \pm \sqrt{\frac{Glc_{ам}}{2(c^{вп} + c^{эрк} + c_{пост}^{стп})}}. \quad (4)$$

Таким образом, в основу выбора количества пунктов выгрузки целесообразно принять вышеуказанную формулу (4) оптимального количества таких пунктов, выведенную с учетом минимизации затрат по доставке для заказчика-потребителя.

Общие экономические издержки заказчика по транспортировке труб из порта отправления до назначения от количества пунктов выгрузки в пределах рассматриваемого участка практически не зависят и их можно рассматривать как нерелевантные для данной задачи.

Расчеты показывают, что обоснованное количество мест выгрузки труб для условий навигации 2007 г. составляет только пять пунктов, то есть почти вдвое меньше намеченного заказчиком и могло бы обеспечить экономию на обустройство этих пунктов в размере до 300 млн. руб. Увеличение количества этих пунктов по сравнению с расчетным можно считать оправданным только при наличии крупных естественных препятствий (проток, крупных оврагах и т.п.).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оптимизированная модель, экономический эффект, загрузка судна, грузовые пункты
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Виниченко Виктория Александровна, аспирант ГОУ ВПО «НГавт»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

ГОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей
сообщения»

М.В. Кучеров, В.А. Щербаков

ANALYSIS OF THE TARGET EFFICIENCY INDEX FOR RAILWAY TRACK FACILITIES MODERNIZATION

«Siberian state transport university»

M.V. Kucherov, V.A. Shcherbakov

The background, peculiarities and factors that provide estimation of average sectional speed as the target efficiency index of railway track facilities modernization are considered.

Рассматриваются предпосылки, особенности и факторы, определяющие среднюю участковую скорость в качестве целевого показателя эффективности модернизации путевого хозяйства железных дорог.

Техническое перевооружение (модернизация) транспорта является важнейшей проблемой в рамках достижения стратегической цели вывода экономики страны из кризисного состояния и придания ей требуемых темпов развития. Без модернизации транспортной системы нельзя добиться существенного улучшения использования транспортного потенциала страны и эффективного обслуживания экономики и населения, а также обеспечить в полной мере безопасность перевозок и охрану окружающей среды. В настоящее время данная проблема успешно решается в рамках принятой в 2001 году Федеральной целевой программы «Модернизация транспортной системы России (2002-2010 годы)» [1].

Целевые установки данной программы предполагают «улучшить состояние и техническую оснащенность объектов инфраструктуры, привести их в соответствие с современными требованиями, ликвидировать имеющиеся «узкие» места, увеличить пропускную и провозную способность звеньев, ограничивающих перевозки, создать условия для полной реализации технических возможностей современных подвижных средств». Таким образом, состояние путевого хозяйства железных дорог России, как основной составляющей инфраструктуры железнодорожного транспорта, является одним из важнейших факторов, определяющих результаты модернизации транспортной системы в целом.

В качестве одного из основных целевых объемных показателей результативности ФЦП применительно к железнодорожному транспорту принят показатель «средняя участковая скорость грузовых поездов». В частности, к моменту завершения ФЦП (в соответствии с утвержденными цифрами) средняя участковая скорость в грузоперевозках должна быть повышена на 5,2%. Таким образом, весьма актуальной является задача привязки системы обоснования экономической эффективности проектов модернизации объектов путевого хозяйства к целевому показателю, определенному ФЦП «Модернизация транспортной системы РФ».

На сегодняшний день базовые экономические нормативы, применяемые в путевом хозяйстве, установлены «Положением о системе ведения путевого хозяйства на железных дорогах Российской Федерации» [2], определившим переход ведения путевого хозяйства на новую систему на основе повышения технического уровня и внедрения ресурсосберегающих технологий. Данное Положение является основным нормативным документом путевого хозяйства железных дорог.

Повышение эффективности и качества перевозок грузов и пассажиров в большой степени зависит от дальнейшего усиления мощности верхнего строения пути и его технического состояния. Планомерный рост и постоянное совершенствование (модернизация) технической вооруженности пути и сооружений, качество их технического обслуживания должны обеспечивать безопасность и бесперебойность движения поездов, способствовать улучшению эксплуатационных и экономических показателей, что, в конечном счете, позволит повысить эффективность и конкурентоспособность перевозочного процесса.

Цель функционирования всего путевого комплекса как одного из важнейших подразделений Компании сформулирована следующим образом: «Все элементы железнодорожного пути (земляное полотно, верхнее строение пути и искусственные сооружения) по прочности, устойчивости и состоянию должны обеспечивать безопасное и плавное движение поездов

со скоростями, установленными на данном участке» [3].

На современном этапе особую остроту приобрела проблема оценки деятельности структурных подразделений хозяйства пути [4]. Существующие в дистанциях пути технико-экономические показатели лишь косвенно связаны с целевыми установками и недостаточно ориентированы на повышение эффективности работы подразделения. Следовательно, очень важно определить такие показатели эффективности обслуживания пути, которые будут отражать себестоимость поддержания пути в состоянии, соответствующем установленным требованиям, и связаны с целевыми установками работы предприятия железнодорожного транспорта, то есть позволят обеспечить конкурентное преимущество на рынке транспортных услуг.

Учитывая, что поддержание заданных скоростей движения на пути соответствующего класса и с данной структурой грузопотока при безусловном соблюдении норм безопасности и уменьшении расходов на техническое обслуживание является важнейшей задачей работы путевого комплекса, показатель обеспечения скорости движения поездов должен стать одним из основных показателей эффективности работы линейных предприятий путевого хозяйства.

Дополнительные расходы, возникающие вследствие ограничений скорости движения посредством выдачи предупреждений, отражаются на показателях работы не только путевого хозяйства, но и других хозяйств, прежде всего локомотивного и перевозок. Следует заметить, что по отношению к путевому хозяйству скорость движения поездов является комплексным показателем, в котором находит отражение большинство других частных показателей, характеризующих качество текущего состояния пути.

Нормативы затрат труда на текущее содержание пути введены в действие еще в 1997 году [5]. В них отражены особенности современной системы ведения путевого хозяйства, сложность работ, уровень квалификации работников, что позволяет гибко реагировать на изменяющиеся условия работы железных дорог. Этим же приказом в целях рационализации использования труда работников и путевых машин предусмотрено ежедневное предоставление технологических «окон» продолжительностью не менее трех часов, а также укомплектование бригад монтеров пути с доведением их численности до показателя не менее 75% от норм.

Между тем необходимо рассматривать путевое хозяйство не как отдельную структуру, а как структурное подразделение, работающее на общий результат. Тем более, что на современном этапе возрастает роль объективной экономической оценки деятельности путевого хозяйства через реальную скорость нитки графика, ограничение скорости движения и сопутствующие затраты в смежных хозяйствах транспорта. Поэтому дистанциям пути целесообразно устанавливать задание по технической скорости движения поездов. Для начала можно ограничиться установлением этого показателя применительно к грузовому движению.

Однако было бы неправильно все задержки поездов по вине путевого хозяйства учитывать как влияющие на уменьшение технической скорости. Например, задержки, связанные с передержкой «окон», происходят, как правило, во время проведения ремонтных работ и приводят к увеличению времени задержек поездов на промежуточных станциях и снижению уже не технической, а участковой скорости движения поездов.

Современные системы учета оценивают затраты только в разрезе отдельно взятого вида деятельности с конкретизацией по хозяйствам. Однако с их помощью невозможно оценить влияние того или иного фактора в путевом хозяйстве на издержки в целом всего предприятия железнодорожного транспорта или хотя бы его территориального филиала, в ведении которого находится данное хозяйство. Например, нарушения в качестве содержания пути, наличие предупреждений по ограничению скорости отражаются на росте затрат в остальных видах деятельности и хозяйствах: локомотивном, вагонном, перевозок и т.д. Влияние технической скорости на затраты предприятия железнодорожного транспорта в части ее зависящих расходов можно определить, используя следующую формулу

$$E = \frac{E_{NH} \sum NS}{V_{mex}},$$

где E – расходы дороги по перевозкам, тыс. руб.;

E_{NH} – укрупненная расходная ставка простоя 1 ч грузового поезда, руб.;

$\sum NS$ – поездо-часы в чистом движении;

V_{mex} – техническая скорость движения грузовых поездов, км/ч.

Оценить влияние функционального показателя технической скорости на результирующий показатель расходов можно, например, с помощью способа разниц по формуле

$$\Delta E_{V_{mex}} = \left(\frac{1}{V_{mex}^1} - \frac{1}{V_{mex}^0} \right) \cdot E_{NH} \cdot \sum NS^0,$$

где $\Delta E_{V_{mex}}$ – экономия (+), увеличение (-) расходов, обусловленных изменением технической скорости;

$\sum NS^1, \sum NS^0$ – соответственно, пробег поездов по дороге в исследуемом и базисном периодах;

V_{mex}^1, V_{mex}^0 – техническая скорость движения грузовых поездов соответственно в исследуемом и базисном периодах.

Результаты влияния изменений технической скорости на расходы дороги, оцененного с помощью интегрального метода по отношению к предыдущему периоду, являющемуся базовым, показаны в таблице 1.

Таблица 1 – Оценка влияния изменения технической скорости движения поездов на расходы

Наименование показателя	1 год	2 год	3 год	4 год
Расходы по перевозкам, млн. руб.	12419	17415	26088	30963
Поездо-километры	55318166	56689863	57382623	60366032
Поездо-часы в чистом движении	1175332	1210283	1261850	1334256
Техническая скорость движения грузовых поездов, км/ч	47,1	46,8	45,5	45,2
Темпы прироста (снижения) технической скорости по отношению к предыдущему году, %	+1,0	-0,5	-2,9	-0,5
Экономия (-), рост (+) поездо-часов в результате изменения технической скорости	-10617	+6504	+36975	+6434
Экономия (+), увеличение (-) расходов, обусловленных изменением технической скорости движения грузовых поездов:				
– в абсолютном значении, тыс. руб.	-7822	+3824	+23962	+7207
– в отношении к расходам дороги, %	-0,06	+0,02	+0,09	+0,02

Оценка влияния технической скорости на расходы дороги произведена только в доле зависящих расходов. Как видно из таблицы, изменение технической скорости существенным образом влияет на расходы дороги.

Приведенные данные подтверждают необходимость постоянного мониторинга всех опозданий поездов, обусловленных различными отклонениями в содержании пути. При этом показателем, позволяющим управлять данными процессами, должна стать техническая скорость движения поездов.

Таким образом полученное соотношение позволяет связать изменение скорости движения на модернизируемых участках пути с экономией затрат на их эксплуатацию и далее через показатели экономической эффективности инвестиций обосновывать целесообразность и оценивать результативность соответствующих инвестиционных программ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Постановление Правительства РФ от 05.12.2001 №848.
- 2 Приказ министерства путей сообщения РФ от 16 августа 1994 г. №12-ц.
- 3 Щербаков, А.И. Эффективность геосинтетических материалов в конструкции земляного полотна / А.И. Щербаков, М.В. Кучеров // Экономика ж. д. -2005. -№3.
- 4 Щербаков, В.А. Экономический анализ деятельности структурных подразделений железнодорожного транспорта / В.А. Щербаков, К.А. Сережин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 82-84.
- 5 Приказ МПС РФ от 3 апреля 1997 г. №8-ц.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *путевое хозяйство железных дорог, модернизация путевого хозяйства, эффективность модернизации железнодорожного транспорта, экономическая эффективность инвестиций*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кучеров Максим Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «СГУПС»
Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, профессор ГОУ ВПО «СГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОГ

ООО «Дорстроймост»

В.Л. Коркин

ANALYSIS OF COMPETITIVE POSITIONS AS THE INSTRUMENT FOR STRATEGIC PLANNING OF HIGHWAYS CONSTRUCTION
«Dorstroymost»
V.L. Korokin

In the given article the author considers the methods of strategic planning in a big construction company that introduces the process of development and provision of economic correspondence between company's goals, its real opportunities and prospects of success in the field of products and services sales under new highway engineering.

Рассмотрены способы стратегического планирования крупной строительной организации, осуществляющей собой процесс создания и поддержания экономического соответствия между целями организации, её реальными возможностями и шансами на успех в области реализации продукции и услуг в сфере нового дорожного строительства.

Чтобы оставаться конкурентоспособным, любой бизнес должен постоянно контролировать все затраты, которые он несет, определяя таким образом полную стоимость (себестоимость) производимого продукта или предлагаемой услуги. В показателе себестоимости отражаются результаты всей производственно-хозяйственной и финансовой деятельности компании. Уровень себестоимости и темпы ее изменения характеризуют, по существу, степень использования всех ресурсов компании. Оценка издержек, а затем поиск путей их снижения - обязательное условие преуспевания любого эффективного бизнеса. Снижение уровня издержек обеспечивает, при прочих равных условиях, рост прибыли, получаемой компанией, т. е. экономическую эффективность ее функционирования.

Исследуя природу затрат и то, что именно рассматривается в каждой конкретной ситуации в качестве затрат, часто зависит от точки зрения менеджера, принимающего конкретное решение. Оно призвано координировать работу ООО «Дорстроймост» и его подразделений, намечать долгосрочные и среднесрочные цели и определять тактику эффективного использования ресурсов для достижения этих целей. Мировой опыт показывает, что стратегическое планирование является одним из основных способов успешного управления бизнесом крупных компаний и предприятий, к которым можно отнести и ООО «Дорстроймост».

Стратегическое планирование представляет собой процесс создания и поддержания стратегического соответствия между целями организации, её реальными возможностями и шансами на успех в области реализации продукции и услуг. Оно опирается на программное заявление о миссии (стратегической цели) организации, формулировку конкретных целей и задач, хозяйственный портфель (объёмы производства и ресурсы) и стратегию роста.

В системе планирования стратегическому планированию принадлежит ведущая роль. Оно является важнейшим элементом маркетинговой концепции управления организации.

Отличие стратегического планирования от перспективного заключается в направленности его формирования от будущего к настоящему, в то время, как в основе существовавшей схемы долгосрочного планирования была экстраполяция (перенесение) на будущее закономерностей функционирования и развития, сложившихся в прошлом.

Разумеется, что прогрессивные закономерности (например, сбалансированность ресурсов и потребностей) используются и на будущее, но с учётом предварительного анализа и прогноза экономической конъюнктуры. При этом концепция стратегического планирования не содержит предположения, что будущее непременно должно быть лучше прошлого. Важны не столько сроки планирования, сколько сущность стратегии.

Основные принципы стратегического планирования заключаются в следующем:

- устремлённость в долгосрочную (на 10-15 и более лет) и среднесрочную (до 3-5 лет) перспективы деятельности организации;
- ориентация на решение ключевых целей и задач, от достижения которых зависит прогресс в развитии организации;
- органическая увязка намеченных целей с объёмом и структурой наличных и перспективных ресурсов;
- учёт воздействия на деятельность организации многочисленных внешних факторов, оказывающих как позитивное, так и негативное влияние (инфляция, налоги, конкуренция и

т.п.);

– адаптивность системы, то есть способность предвидеть изменения внутренней и внешней среды и приспособить к ним процесс функционирования организации. Алгоритм разработки стратегического плана работы железнодорожного транспорта (железнодорожной дороги) состоит из нескольких последовательных этапов или шагов работы (рисунок 1).

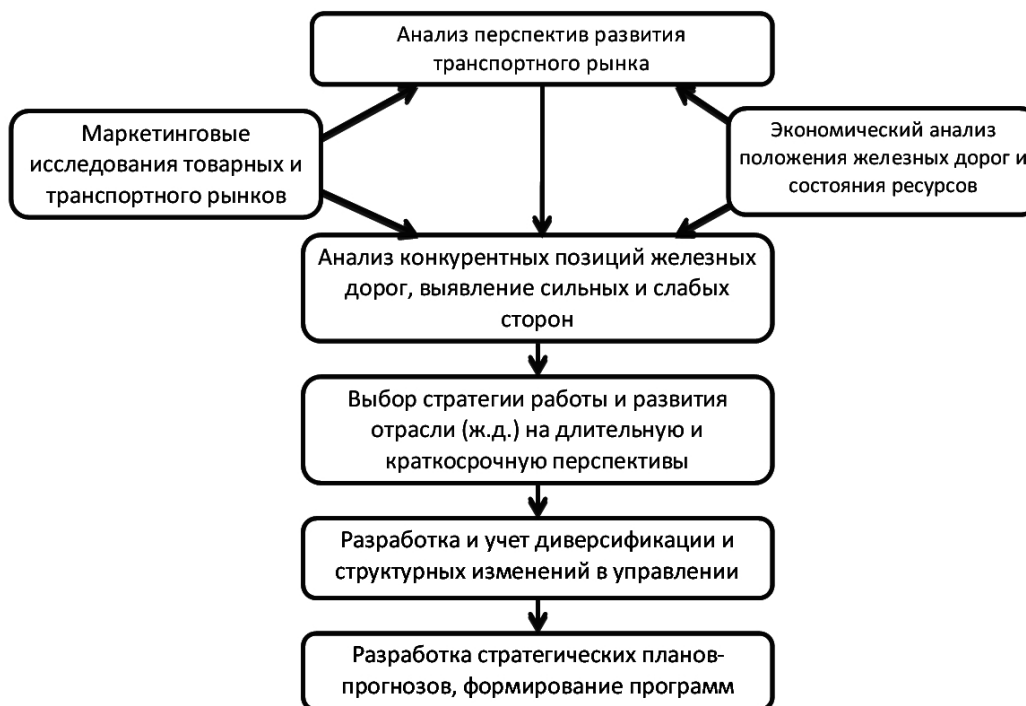


Рисунок 1 – Алгоритм разработки стратегического плана

На первом этапе проводится анализ перспектив транспортного рынка на основе маркетинговых исследований товарных и транспортного рынков, изучения грузообразующих отраслей и спроса на перевозки, изучения конкурентных позиций, развития внешнеэкономической деятельности и социальной политики региона. Одновременно проводятся комплексный экономический анализ собственных ресурсов, определение собственных конкурентных позиций на рынке транспортных услуг на основе «SWOT» анализа.

Вместе с тем, сильной стороной собственного производства является сохранение высокого уровня управляемости производственной и хозяйственной деятельностью, мощная материально-техническая база, гибкая амортизационная и ценовая политика, динамичная информация управления производственными процессами, широкая доступность пользования.

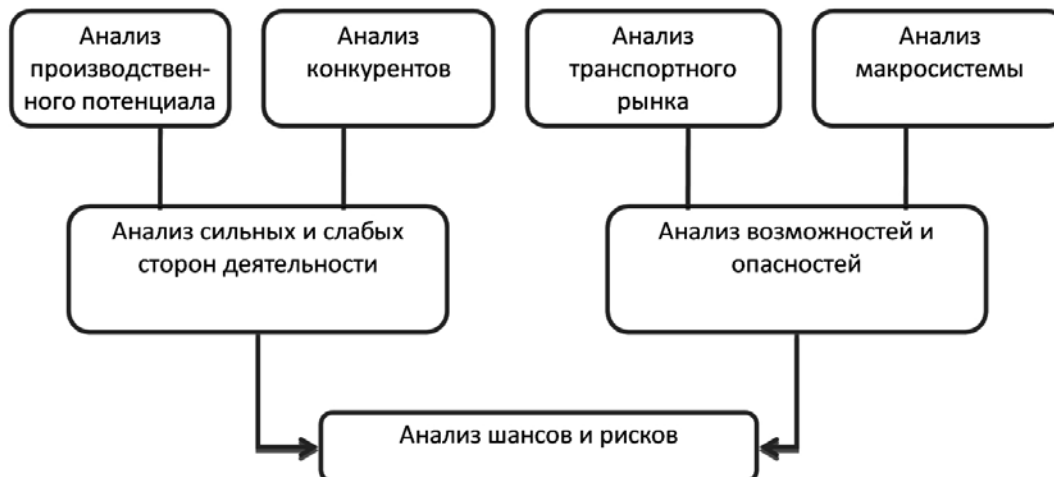


Рисунок 2 – Основные компоненты «SWOT» анализа

Для анализа конкурентных позиций и выбора возможных стратегий развития необходимо провести подробный беспристрастный анализ всех сфер деятельности, выявить возможные чрезвычайные ситуации и опасности по различным компонентам, разработать предложения по использованию выявленных положительных шансов и нивелированию рисков (рисунк 2).

Анализ сильных и слабых сторон деятельности ОАО «Сибмост» и его потенциала проводят по следующим направлениям:

- менеджмент компании: реальные цены и стратегии, культура и философия, система мотиваций труда сотрудников;
- маркетинг: фазы жизненного цикла транспортных услуг и других продуктов, тарифная политика, коммуникации и взаимоотношения с пользователями;
- состояние начальных исследований: интенсивность и результаты, новизна, использование новых информационных технологий;
- кадры: возрастная структура, уровень образования, квалификация, социальная политика, мотивация менеджмента;
- производство: состояние основных фондов, оборудования, гибкость технологий, качество управления транспортным производством;
- финансы: доля собственного капитала, финансовый баланс, дебиторская и кредиторская задолженности, возможности получения кредита.

Анализ потенциальных возможностей и опасностей выполняют по основным целевым рынкам как сравнительный анализ, определяя:

- потенциал рынка транспортных услуг, уровень насыщения, темпы роста;
- распределение объемов перевозок по видам транспорта;
- стабильность, потребности и платежеспособный спрос на транспортные услуги, структура спроса, динамика цен и долю транспортного фактора в ценах потребления;
- динамика сферы материального обращения или подвижности населения, особенности и тенденции способов и схем товародвижения;
- распределение сфер и возможностей между субъектами транспортного рынка (видами транспорта, экспедиторами, операторскими компаниями или грузовладельцами), остроту международной конкуренции.

По результатам этого анализа производство должно получить ответы на вопросы: каково их место на рынке, куда идет транспортный рынок, какую пользу и кому они дают и собираются дать, чего и как они хотели бы достичь, на основе возможности стратегического планирования.

Стратегия диверсификации предусматривает организацию дополнительных и услуг близких или не связанных с основным производством, или перепрофилированных отдельных транспортных производств на выпуск нетрадиционных товаров и услуг в целях увеличения доходности бизнеса.

Стратегия интернационализации связана с развитием международного сотрудничества транспортных предприятий по приобретению подвижного состава, машин и оборудования, организации международных перевозок, в том числе по транзитным коридорам, созданию интернациональных стандартов и нормативов в области транспорта.

Как видно, все эти стратегии направлены на рост объемов производства повышения конкурентоспособности собственного предприятия.

Основу производственного процесса строительства автодорог составляет материальный поток предметов труда по технологическим операциям и производственным участкам, предусмотренный технологическими картами, графиками и другой технической документацией.

Производственные процессы протекают одновременно на большом числе объектов различной трудоемкостью строительных работ, что существенно усложняет технологию, организацию и управление. Объемы производства работ, выполняемых на основании стратегического планирования являются случайными величинами, точно определить которые заранее невозможно.

Построение динамических моделей по данным нормального хода производственного процесса заключается в получении записи реализации случайных функций, характеризующих входные и выходные переменные производственного процесса. По результатам обработки полученных реализаций можно найти оценки основных характеристик, описывающих закономерности изучаемого процесса. Следовательно, задача стратегического планирова-

ния сводится к определению оценок производственного процесса, устанавливающего соответствие между входными и выходными его переменными

$$Y(t) = AtX(S), S \in St,$$

где $Y(t)$ – выходная функция (объем работ на выходе в момент t);

At – состояние позиции с момента s до момента t ;

$X(S)$ – входная функция (объем работ на входе в момент s).

Для решения вопросов организации производственного процесса большое значение имеет получение математических моделей по отдельным видам работ и всему производственному процессу. Математические модели могут быть использованы для расчета точности выполнения каждой из составляющих работ производственного процесса, определения доли влияния исходных факторов на точность выполнения процесса, выявления картины действительного рассеивания суммарной погрешности выполнения работ, обоснованного решения задач автоматизированного управления производственным процессом.

Разумеется, что каждый стратегический шаг должен по мере возможности учитывать возможности использования элементов и других стратегий. Глубокое проникновение на рынки возможно за счёт завоевания новых сегментов транспортного рынка, строительства новых автодорог к разрабатываемым месторождениям полезных ископаемых и осваиваемым территориям, строительства автотранспортных магистралей и т.п.

Технологическая стратегия предусматривает использование новых технологий перевозочного процесса, обновление и внедрение новых транспортной техники, новых технологических решений, создание комплексов строительно-дорожных машин и т.п.

Стратегия низких издержек означает гибкое управление затратами, нормативное планирование эксплуатационных расходов, их контроллинг, ресурсосбережение, всемерную экономию и оптимизацию издержек.

Стратегия инноваций в области продукта предусматривает создание новых видов транспортных услуг, повышение качества транспортного строительства и обслуживания.

Стратегия кооперации предполагает прочное взаимодействие и взаимовыгодное сотрудничество с клиентурой, поставщиками и заказчиком, местной администрацией, региональными и федеральными органами власти, финансовыми и отраслевыми структурами, а также другими видами транспорта.

Повышению эффективности бизнеса может способствовать развитие диверсификация деятельности, использование рыночных форм и методов зарабатывания доходов за счет развития нетрадиционных производств, выполнение работ и оказание услуг населению, что также должно найти отражение в стратегическом планировании.

Заключительная этап стратегического планированию связан с разработкой прогнозов объемов продажи транспортных услуг, объема необходимого ресурсного обеспечения производительной силы системы, инвестиционных программ и бюджетов по отдельным направлениям деятельности. При этом на основе имитационного моделирования разрабатывают несколько вариантов основных показателей стратегического плана: оптимистический, пессимистический и базовый.

В стратегическом плане указывают также ряд расчетных и информационных показателей таких как:

- доли размеры амортизационных отчислений;
- лимиты численности работников и выработки на одного работника по видам деятельности;
- объемы проектных и изыскательских работ;
- уровень качества транспортного обслуживания;
- подготовки кадров, социальной политики.

Учитывая территориально-отраслевой принцип управления выделяют четыре уровня разработки стратегических планов работы: корпоративный, территориально-производственный, функциональный, линейный.

Стратегические планы содержат пятилетнюю и годовую разбивку показателей и в процессе выполнения корректируются с учетом меняющейся конъюнктуры рынка, изменений внутренней и внешней среды.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: строительство автодорог, стратегический план
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Коркин Владимир Леонидович, директор ООО «Дорстроймост»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, пр. Димитрова, 16, ООО «Дорстроймост»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ДНОУГЛУБЛЕНИЕ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Н.А. Ануфриев

THE ECONOMIC-MATHEMATICAL MODEL OF THE OPTIMIZATION OF TOTAL EXPENDITURES

«Volga state academy of water transport»

N.A. Anufriev

An economic-mathematical model of the optimization of total expenditures for reequipping of a waterway and transportation of cargoes on vessels suitable for the size of waterway limits.

Предложена экономико-математическая модель оптимизации затрат на обустройство водных путей и перевозку грузов на судах, соответствующих по грузоподъемности габаритам судового хода.

В последние годы в Федеральном агентстве морского и речного транспорта и в регионах, имеющих внутренние водные пути в качестве важных транспортных коммуникаций, дискутируется вопрос о передаче боковых и малых рек в региональное подчинение. Вопрос не простой, есть аргументы «за» и «против», дискуссии продолжаются, а Государственные бассейновые управления, озабоченные обеспечением гарантированных глубин на магистральных реках, постепенно сокращают финансирование на поддержание судоходства на малых реках, фактически передавая их под опеку регионов. Для регионов малые реки часто являются единственным средством перевозки пассажиров и доставки топлива, продовольствия, строительных материалов, бытовой техники и других грузов, необходимых для жизнеобеспечения населения глубинных районов. Но действующее законодательство не позволяет регионам выделять средства из собственных бюджетов на обустройство государственных водных путей. В результате отдельные малые реки из некогда судоходных превращаются в несудоходные, движение флота по ним возможно только в период весеннего паводка и только в светлое время суток.

Затраты на обустройство малых рек и поддержание их в судоходном состоянии необходимо рассчитывать. Методика расчета необходимых объемов дноуглубительных работ [1] не применима для малых рек, так как не учитывает объемы перевозок.

Наличие на малых реках глубин определенного уровня, продолжительность их поддержания, наличие освещаемой или неосвещаемой судоходной обстановки существенно повлияют, с одной стороны, на величину затрат на поддержание судоходства, с другой стороны, на себестоимость перевозок по этим рекам. Перед органами региональной власти встанет задача, во что вкладывать средства: в обустройство рек и при этом обеспечить минимальную себестоимость перевозок и низкие тарифы, или платить высокую цену за перевозку, но обойтись минимальными вложениями в содержание водных путей.

Нами предложена экономико-математическая модель оптимизации затрат на перевозку и обустройство водных путей. Содержание модели впервые было обнародовано в тезисах доклада на Юбилейной научно-технической конференции ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ» (декабрь 2005 г.) [2]. Критерием оптимизации служат суммарные затраты на перевозку, на дноуглубительные и выправительные работы, на содержание судоходной обстановки. Формулировка модели предполагает, что увеличение глубины пути на некоторую величину Δh позволит пропорционально увеличить осадку судов, соответственно их загрузку и провозную способность флота.

Для записи модели примем следующие обозначения:

- i – индекс грузопотока;
- j – индекс типа состава;
- α – индекс типа земснаряда;
- k – индекс типа судоходной обстановки (освещаемая, неосвещаемая, светоотражательная);
- G_i – размер i -го грузопотока, тыс. т;
- l_i – протяженность участка реки на маршруте грузопотока, км;
- Φ_j – фактическое наличие составов j -го типа, ед.;
- Φ_α – фактическое наличие земснарядов α -го типа, ед.;

- $X_{ij}, Y_{i\alpha}$ – искомые ресурсы флота и земснарядов, ед.;
- Π_{ij} – провозная способность одной единицы состава j -го типа при освоении i -го грузопотока за навигационный период при естественных глубинах и неосвещаемой судоходной обстановке, тыс. т;
- $R_{i\alpha}$ – производительность одной единицы земснаряда α -го типа при выполнении путевых работ на трассе i -го грузопотока за навигационный период, тыс. м³;
- P_{ij} – показатель, учитывающий прирост провозной способности одного состава j -го типа при освоении i -го грузопотока при выполнении путевых работ в размере 1000 м³, тыс. т/тыс. м³;
- \mathcal{E}_j – эксплуатационные расходы по составу j -го типа при работе на i -ом грузопотоке за навигационный период, тыс. руб.;
- $\mathcal{E}_{i\alpha}$ – эксплуатационные расходы на выполнение путевых работ по земснаряду α -го типа при работе на трассе i -го грузопотока за навигационный период, тыс. руб.;
- h_r – гарантированная глубина на разрабатываемом участке водного пути, см;
- h_f – эксплуатационная осадка судов, см;
- Δh – запас воды под днищем судна, см;
- e_{ik} – расходы на содержание судоходной обстановки k -го типа, приходящиеся на 1 км пути на маршруте i -го грузопотока за навигацию, руб./км.

Ограничения модели служат:

- обязательность выполнения плановых объемов перевозок

$$\sum X_{ij} \Pi_{ij} + \sum_{\alpha \in A} Y_{i\alpha} R_{i\alpha} \sum_{j \in G} P_{ij} X_{ij} \geq G_i;$$

- неперевышение затрат флота по сравнению с имеющимися ресурсами судов

$$\sum_{i \in I} X_{ij} \leq \Phi_j;$$

- неперевышение затрат земснарядов над имеющимися ресурсами

$$\sum_{\alpha \in A} Y_{i\alpha} \leq \Phi_{i\alpha};$$

- обязательное наличие судоходной обстановки (неосвещаемой, светоотражательной или освещаемой)

$$e_{ik} > 0;$$

- глубина судового хода на разрабатываемом участке должна быть не меньше гарантированной

$$h_r \geq T_{\mathcal{E}} + \Delta h;$$

- неотрицательность переменных

$$X_{ij} \geq 0; Y_{i\alpha} \geq 0.$$

Функция цели запишется в виде

$$\sum_i \sum_j X_{ij} \mathcal{E}_{ij} + \sum_i \sum_{\alpha} X_{i\alpha} \mathcal{E}_{i\alpha} + e_{ik} l_i \rightarrow \min.$$

Модель была апробирована на конкретном примере при завозе грузов в пункты р. Казым (Ханты-Мансийский автономный округ). На участке р. Казым от устья до пос. Белоярский есть несколько перекатов, ограничивающих осадку судов. В условия задачи были записаны несколько вариантов объема перевозок, разные варианты наличия флота и земснарядов (от одной единицы до «без ограничений»), фактические значения расходов по типовым составам и земснарядам. Задача решалась на ПК в табличном процессоре EXCEL. Результаты решения показали, во-первых, работоспособность модели, во-вторых, возможность ее модификации. В частности, для северных широт почти весь период навигации (от середины мая до начала августа) приходится на светлое время суток, лишь в конце июля – начале августа наступают ночные сумерки. По этой причине не возникает необходимость в освещаемой судоходной обстановке. Вполне возможно заменить расходы по земснарядам затратами на увеличение глубины пути на 10 см. В качестве критерия модели может выступать минимальное значение тарифа за перевозку (руб./т), что очень важно для администрации региона, оплачивающей перевозку грузов государственного заказа.

В случае передачи немагистральных рек в ведение регионов, приведенная экономико-математическая модель позволит рассчитывать оптимальные значения расходов из регио-

нальных бюджетов на перевозку грузов и в обустройство водных путей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Антонов, В. Методика расчета необходимых объемов дноуглубительных работ / В. Антонов; Печер. ГБУВПиС // Реч. трансп. -2007. -№5. -С. 62-67.

2 Ануфриев, Н.А. Об организации перевозок по малым рекам / В.И. Астахов, А.Г. Малышкин, Н.А. Ануфриев // Материалы научно-методической конференции профессорско-преподавательского состава, аспирантов и специалистов: юбил. вып. / Волж. гос. акад. вод. трансп. -Н. Новгород, 2005. -Ч.1. -С. 227-228.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *затраты на дноуглубление и содержание судоходной обстановки, себестоимость перевозок, экономико-математическая модель, ограничения модели, функция цели*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Ануфриев Николай Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

МЕТОДИКА РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРАССЫ И ГАБАРИТОВ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ СУДОХОДНЫЕ РЕКИ

ФГУ «Обское главное бассейновое управление водных путей и судоходства»

С.В. Павлушкин

TECHNIQUE OF THE SETTLEMENT SUBSTANTIATION OF THE LINE AND DIMENSIONS OF BRIDGE TRANSITIONS THROUGH THE NAVIGABLE RIVERS

«Obsky main river steering of waterways and navigation»

S.V. Pavlushkin

The technique of a settlement substantiation of dimensions of bridge transitions developed by the author is presented.

Представлена разработанная автором методика расчетного обоснования габаритов мостовых переходов.

В основе проектирования мостовых переходов должен лежать комплексный подход, включающий интересы не только наземного (автомобильного, железнодорожного и т.д.), но и водного транспорта, поскольку водные пути – это государственная собственность и обеспечение на них судоходных условий осуществляется государственными предприятиями на основе бюджетных ассигнований.

Обобщение накопленного многолетнего опыта проектирования и эксплуатации дноуглубительных и выправительных работ в районах мостовых переходов через судоходные реки, а также необходимость согласования проектов мостовых переходов позволили разработать следующую методику обоснования трассы и надводных габаритов мостовых переходов:

1 Плановой основой для проектирования мостовых переходов должны являться русловые съемки с протяженностью для прямолинейных участков не менее 5 ширин русла, а для меандрирующих участков – не менее протяженности излучины выше и ниже предполагаемого створа мостового перехода. При этом русловые съемки должны быть представлены за годы, соответствующие средней, низкой и большой водности.

2 На основе полученного планового материала по сопоставляемым и совмещенным планам за соответствующие периоды времени производится анализ русловых процессов на основе классификации МГУ, по результатам которого выполняется обоснование выбора створа мостового перехода в соответствии с требованиями ГОСТ. Поскольку, прежде всего из-за высокой степени урбанизации прибрежных территорий, выполнение всех требований ГОСТа часто бывает невыполнимым в силу различных местных причин, выбор створа мостового перехода осуществляется, исходя из минимума планово-высотных деформаций русла.

3 По совмещенным планам за соответствующие периоды производится количественная оценка русловых деформаций в створе моста. При необходимости стабилизации судоходной трассы обосновывается состав и количество выправительных сооружений, судоходных прорезей и отвалов грунта в соответствии с действующими инструкциями по обеспечению безопасных условий плавания судов. При этом в состав расчета должны обязательно входить: построение планов течения, изменение положения свободной поверхности воды и количественный прогноз русловых деформаций (как плановых, так и высотных). Составляется

смета на производство капитальных путевых работ: выправительных и дноуглубительных, а также предусматриваются отчисления на производство ежегодных эксплуатационных работ по поддержанию безопасных условий плавания.

4 По полученным рекомендациям к зависимостям определяющим места расположения и габаритные размеры водоворотных областей, делается вывод об их влиянии на судоходство и устойчивость мостовых опор.

5 По характеристикам транспортного и технического флота, эксплуатируемого на данном участке реки и планируемого на перспективу, обосновываются габариты мостовых пролетов, безопасные для судоходства рекомендации.

6 На основе анализа состояния судоходных трасс и управляемости судов даются рекомендации по режиму их проводки через створ мостового перехода.

7 Исходя из необходимости поддержания безопасных условий судоходства, устанавливаются сроки выполнения необходимых путевых работ относительно начала возведения мостовых опор. При этом особое внимание должно уделяться расстановке плавресурсов и другой строительной техники.

8 Контроль за выполнением всех путевых работ, производство которых финансируются за счет организации-заказчика мостового перехода.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: методика расчета, мостовой переход

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Павлушкин Сергей Валентинович, ген. директор ФГУ «Обское ГБУВПиС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Урицкого, 13, ФГУ «Обское ГБУВПиС»

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев

ECOLOGICAL ESTIMATION OF WATER SUPPLY OF NOVOSIBIRSK CITY

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.V. Turbinskij, V.A. Hmelev

It is necessary to define a priority of the Novosibirsk reservoir for drinking and economic-drinking water supply of a city of Novosibirsk.

Определен приоритет Новосибирского водохранилища – для целей питьевого и хозяйственно-питьевого водоснабжения города Новосибирска.

Обеспечение населения доброкачественной питьевой водой в достаточном количестве в условиях интенсивно развивающегося мегаполиса – является одной из важнейших экономических и гигиенических проблем, требующих постоянного и безотлагательного внимания.

Темпы роста жилищного, гражданского, промышленного строительства в городе, и как следствие – рост водопотребления, требуют надежного источника водоснабжения, современных технологических процессов водоподготовки на существующих сооружениях водоснабжения, обеспечивающих высокую их производительность при соблюдении санитарно-гигиенических требований к качеству питьевой воды. В городе Новосибирске – одном из крупнейших городов России с населением 1,397 млн. человек, с годовым приростом вновь выстроенного жилищного фонда до 1 млн. м² развитие комплекса водопроводных сооружений имеет первостепенное значение.

В настоящее время единственным источником водоснабжения населения города Новосибирска является река Обь (образовалась от слияния рек Бия и Катунь, в районе г. Бийска, Алтайский край) с созданным на ней Новосибирским водохранилищем. Данный источник хозяйственно-питьевого водоснабжения полностью обеспечивает потребности города в воде.

Однако качественные показатели воды водоема нестабильны из-за природного и техногенного изменения гидрологического режима в Новосибирском водохранилище и реке. Природными факторами обуславливается изменение водности водохранилища, его температурный режим, размывание берегов и увеличение площади мелководий, развитие фитопланктона, что приводит к увеличению органического и бактериального загрязнения водоема, повышению содержания взвешенных веществ. Техногенными факторами является гидрологический режим нижнего бьефа Новосибирской ГЭС: регулируемый сброс воды, углубление фарватера для обеспечения судоходства, добыча гравийно-песчаной смеси, сброс

неочищенных ливневых и талых вод с территории города, что приводит к критическим уровням воды в створе водозаборных сооружений, вызывает увеличение химической и бактериальной нагрузки на водоем.

Новосибирское водохранилище (таблица 1) осуществляет сезонное регулирование стока реки Обь – его наполнение до проектной отметки производится ежегодно. Акватория водохранилища по морфометрическим показателям и гидрологическому режиму представляет собой озеровидный водоем, вытянутый в северо-восточном направлении, который можно разделить на три характерных участка по длине (рисунок).

Из-за незначительного объема полезной емкости, в водохранилище, в среднем, аккумулируется не более 9% объема половодья, остальная часть которого проходит транзитом в нижний бьеф.

Проточность водохранилища наблюдается в основном в пределах затопленного русла реки Оби. Наибольшая скорость стокового течения отмечается в верхней части, где она близка к бытовому и в половодье достигает значений 1,5 м/с, а при НПУ 0,3-0,5 м/с. В средней части водохранилища скорость течения в 2-3 раза ниже естественной – в приплотинной части даже в половодье она не превышает 0,3-0,4 м/с. Ветровые течения характерны для среднего и нижнего участков водохранилища. Их скорость при юго-западных ветрах составляет порядка 0,2-0,3 м/с. Принимая значение средней скорости течения в водохранилище равным 0,5 м/с, можно сделать вывод, что полную длину водохранилища поток преодолевает в среднем примерно за 4 суток.

Таблица 1 – Основные характеристики Новосибирского водохранилища

Наименование показателя	Численное значение
Длина водохранилища, км	185
Ширина, км	
– максимальная	22,0
– средняя	5,4
Глубина, м	
– максимальная	18,0
– средняя	8,2
Объем, км ³	
– полный при нормальном подпорном уровне	8,8
– полезный	4,4
Протяженность береговой линии, км	500
Площадь зеркала, км ²	
– при нормальном подпорном уровне	1070
– при УМО	700
Нормальный подпорный уровень (НПУ), м БС	113,5
Площадь водосбора, км ²	227500
Среднемноголетний расход воды, м ³ /с	1660

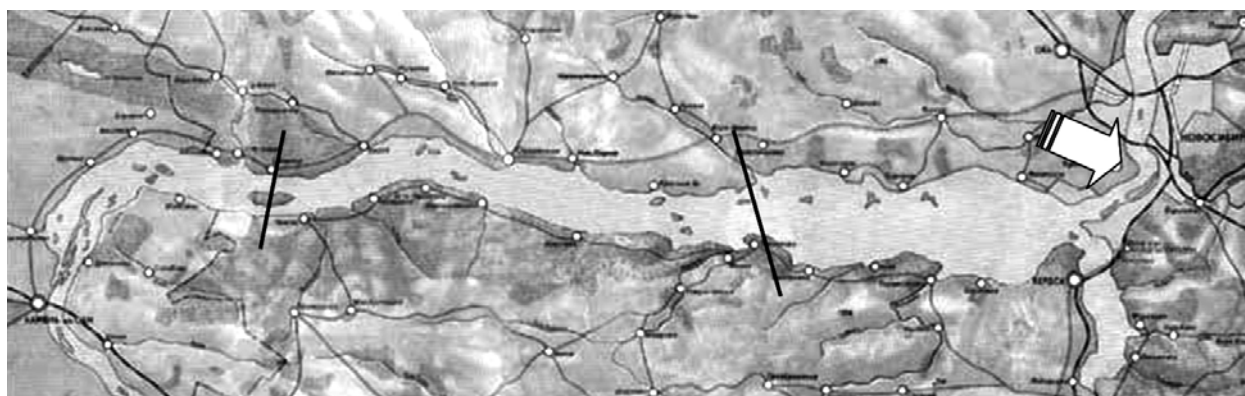


Рисунок – Новосибирское водохранилище (стрелкой обозначен водозабор НФС-1)

Таким образом, руководствуясь требованиями СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения» о размере второго пояса зоны санитарной охраны, равном 5-ти суточному пробегу потока, следует включить в границы второго пояса водохранилище на всем его протяжении – 185 км.

По данным мониторинга, проводимого Управлением федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека по Новосибирской области вода в реке Оби в створе городского водозабора не отвечает требованиям [3] по БПК₅, и микробиологическим показателям в паводковый период и летнюю межень. Содержание взвешен-

ных веществ в паводковый период увеличивается $55,5 \text{ мг/дм}^3$, при фоновых значениях в период зимней межени – менее $3,0 \text{ мг/дм}^3$ (ниже предела обнаружения). Городские водозаборные сооружения расположены в нижнем бьефе Новосибирской ГЭС.

Эксплуатацию системы водоснабжения города осуществляет Муниципальное Унитарное Предприятие г. Новосибирска «Горводоканал».

В качестве водозаборных сооружений используются два водоприемных ковша с береговыми колодцами и один русловой водозабор с насосными станциями первого подъема. В настоящее время система водоснабжения города является крупнейшей за Уралом. Производство воды питьевого качества осуществляется на четырех насосно-фильтровальных станциях, ежедневно подающих для города 850 тыс. м^3 питьевой воды, по всем показателям отвечающей гигиеническим требованиям.

Протяженность водоводов и водопроводных сетей города составляет 1477 км. Кроме города Новосибирска подача питьевой воды из коммунального водопровода осуществляется в ближайшие города-спутники и пригородные поселки (пос. Кирова, пос. Кольцово, пос. Звездный, пос. Матвеевка, пос. Пашино, пос. Мочище, пос. Огурцово, пос. Кудряшовский, с. Раздольное, пос. Правые и Левые Чёмы, СО РАН, зону отдыха Академгородка, г. Краснообск, г. Обь). Расходы воды на одного жителя составляют около 370 литров на человека в сутки.

Насосно-фильтровальные станции города введены в эксплуатацию в 1960-1980 гг. Схема водоподготовки на них классическая – отстаивание с применением реагентов и фильтрование.

Однако за период эксплуатации НФС технология водоподготовки претерпела существенные изменения, позволяющие повысить эффективность очистки воды и производительность сооружений.

В технологию подготовки воды введены современные реагенты – коагулянт оксихлорид алюминия, флокулянты Праестол 650 TR, ВПК-420М, дезинфектант-гипохлорит натрия, позволяющие повысить эффективность коагуляции и дезинфекции, снизить коррозионную агрессивность воды и её способность к образованию галогеносодержащих соединений.

МУП г. Новосибирска «Говодоканал» осуществляет собственное производство гипохлорита натрия, а на одной из НФС внедрен диспергатор для смешения реагентов с водой, что позволило снизить содержание летучих органических соединений, остаточного алюминия и снизить мутность воды. Проводится замена фильтрующих материалов на более эффективные – керамзит и альбитофир.

Для повышения производительности осветлителей с взвешенным осадком камеры хлопьеобразования оборудовали рециркуляторами, что позволило снизить расход реагентов до 25% и повысить производительность сооружений в 1,2-1,5 раза.

Установка тонкослойных модулей на осветлителях и отстойниках повысила эффективность их работы на 25-30%.

Применение камерно-лучевых смесителей повысило эффективность работы сооружений и сократило расход реагентов на 10-15%.

Для улучшения производительности скорых фильтров и повышения эффективности очистки вода были применены новые технологические решения, как-то применение двухслойной загрузки, использование водовоздушной промывки, изменение направления движения воды через фильтрующую загрузку.

В настоящее время начато строительство нового блока водопроводных сооружений производительностью $100 \text{ тыс. м}^3/\text{сутки}$ и станции обеззараживания питьевой воды ультрафиолетовым излучением. Разработан и прошел согласования проект зон санитарной охраны водозаборных сооружений.

Контроль качества речной и питьевой воды осуществляется в соответствии с Рабочей программой производственного контроля питьевой воды, разработанной МУП г. Новосибирска «Горводоканал» и утвержденной департаментом энергетики и ЖКХ мэрии города в 2008 г.

Сейчас качество питьевой воды контролируется Управлением Роспотребнадзора по Новосибирской области по 68 показателям.

Результаты контроля показывают, что в городе Новосибирске качество воды полностью соответствует требованиям [1].

Постоянное совершенствование и своевременная реконструкция системы водоснабжения города позволили добиться высокой степени очистки питьевой воды, в том числе по по-

казателю мутности до 0,3 мг/л.

Результаты оценки риска для здоровья населения от действия радионуклидов и химических канцерогенов (таблица 2) питьевой воды (при потреблении питьевой воды и вдыхании паров в ванной комнате при принятии гигиенических процедур) показывают, что присутствие в питьевой воде канцерогенных металлов (хром, никель) и хлорсодержащих углеводородов (трихлорэтилена, хлороформа) в концентрациях ниже ПДК определяют величину комплексного индивидуального канцерогенного риска на уровне $5,18 \cdot 10^{-5}$, а радионуклидов (суммарная альфа- и бета-активность) – $1,9 \cdot 10^{-6}$.

Такой уровень риска является допустимым, но требует организации постоянного мониторинга источников риска и реализации мероприятий по его снижению.

Выводы:

1 Эффективность системы мероприятий по санитарной охране источника централизованного хозяйственно-питьевого водоснабжения города Новосибирска и приготовление питьевой воды на насосно-фильтровальных станциях МУП г. Новосибирск «Горводоканал» обеспечивает качество питьевой воды в соответствии с требованиями [1].

2 Гидрологические условия Новосибирского водохранилища определяют необходимость включения его на всем протяжении во 2-ой пояс зоны санитарной охраны.

3 Определить приоритет Новосибирского водохранилища – для целей питьевого и хозяйственно-питьевого водоснабжения города Новосибирска.

4 Для обеспечения соблюдения нормативных требований к воде водоисточника в месте водозаборных сооружений города Новосибирска необходимо оформление соглашения между Алтайским краем и Новосибирской областью по взаимодействию по выполнению требований [2].

Таблица 2 – Индивидуальный канцерогенный риск для здоровья населения от действия питьевой воды в городе Новосибирске

Путь поступления	Уровень риска	
	радионуклиды	химические вещества
Ингаляционный	$0,4 \cdot 10^{-6}$	$0,73 \cdot 10^{-5}$
Пероральный	$1,5 \cdot 10^{-6}$	$4,45 \cdot 10^{-5}$
Сумма	$1,9 \cdot 10^{-6}$	$5,18 \cdot 10^{-5}$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СанПиН 2.1.4.1074-01 «Питьевая вода. Гигиенические требования к качеству воды централизованных систем питьевого водоснабжения. Контроль качества»

2 СанПиН 2.1.4.1110-02 «Зоны санитарной охраны источников водоснабжения и водопроводов питьевого назначения»

3 СанПиН 2.1.5.980-00 «Гигиенические требования к охране поверхностных вод»

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: источник водоснабжения, Новосибирск, река Обь, Новосибирское водохранилище, зона санитарной охраны, качество воды, питьевая вода, гигиенические требования

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Турбинский Виктор Владиславович, канд. мед. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Хмелев Вячеслав Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

МЕТОД СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.С. Наумов, А.Н. Бородин

THE METHOD OF DECREASE HUMAN IMPACT OF OIL SPILLS AT OPERATION OF VESSELS ON INTERNAL WATERWAYS «Volga state academy of water transport»
V.S. Naumov, A.N. Borodin

In the article the method of decrease human impact of oil spills at operation of vessels on internal waterways, based on research of two co-occurring processes of moving of oil slick and operative reaction of rescue formation.

Предложен метод снижения антропогенного воздействия разливов нефти и нефтепродуктов на внутренних водных путях, основанный на исследовании двух совместно протекающих процессов перемещения нефтяного пятна и оперативного реагирования аварийно-спасательного формирования.

Современная стратегия развития транспортного комплекса Российской Федерации предусматривает повышение интенсивности перевозок грузов по внутренним водным путям (ВВП). При этом значительную часть грузопотока будут составлять нефть и нефтепродукты, что повышает актуальность обеспечения безопасности подобных перевозок. Опыт эксплуатации нефтеналивных судов на ВВП показывает, что одним из важнейших вопросов экологической безопасности является предупреждение и ликвидация разливов нефти и нефтепродуктов. Для снижения антропогенного воздействия подобных чрезвычайных ситуаций в первую очередь необходима локализация нефтяного пятна, поскольку при его перемещении вдоль ВВП происходит интенсивное загрязнение всех компонент природной среды, приводящее к значительному ущербу окружающей среде (ОС), который является количественной мерой оценки антропогенного воздействия.

Особенности протекания процессов разлива нефти на ВВП приводят к необходимости построения специальной системы их предупреждения и ликвидации, которая предусматривает локализацию разливов на рубежах.

Рубеж локализации – это участок водного объекта, где производится остановка нефтяного пятна с помощью сил и средств локализации, доставляемых из мест их хранения (опорных пунктов).

Местоположение рубежа локализации разлива определяется в специально разрабатываемых планах предупреждения и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов, с учетом, что верхняя временная граница процесса локализации должна составлять 4 ч [1].

Одним из существенных недостатков этого подхода является то, что он не учитывает величину ущерба ОС, которая возрастает с течением времени и к моменту локализации нефтяного пятна может достигать значительных размеров. Вместе с тем в ряде случаев имеется возможность сократить время локализации разлива, что приведет к снижению ущерба ОС. Решение этого вопроса связано с исследованием двух совместно протекающих процессов перемещения нефтяного пятна и оперативного реагирования аварийно-спасательного формирования (АСФ).

Построение траектории перемещения нефтяного пятна вдоль водного пути выполняется на основе моделирования разлива нефти, по результатам которого строится график зависимости положения нефтяного пятна от времени с момента разлива.

Для осуществления имитационного моделирования может использоваться целый ряд программных продуктов, из которых наиболее целесообразно использовать PISCES II производства компании «Транзас». В основе этой программы моделирования лежит математическая модель расчёта возможных сценариев поведения разлитой нефти, в соответствии с современными представлениям об основных процессах распространения и физико-химической трансформации нефти, позволяющая моделировать процессы переноса под действием ветра и течений, растекания под действием сил плавучести и турбулентной диффузии, испарения, диспергирования, эмульгирования, осаждения на берега (рисунок 1).

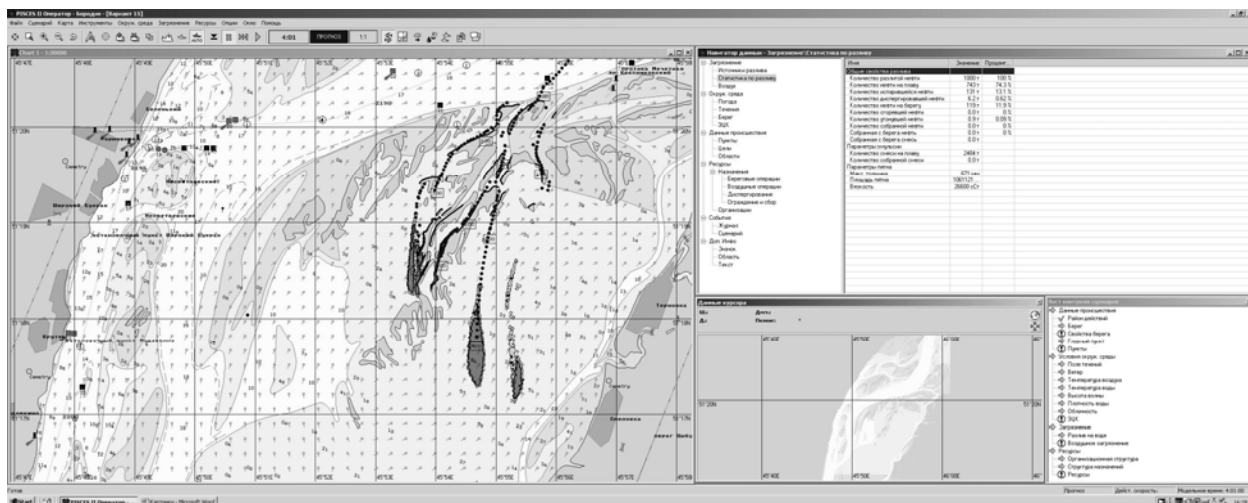


Рисунок 1 – Положение нефтяного пятна на этапе моделирования.

Для исследования процесса оперативного реагирования АСФ необходимо учитывать затраты времени на поступление сигнала на опорный пункт о разливе, оповещение и сбор

команды, погрузку оборудования, доставку оборудования до рубежа локализации от опорного пункта, и постановку боновых ограждений и другого оборудования для локализации на рубеже.

С учетом этого, время локализации разлива может быть рассчитано по следующей формуле

$$t = T_1 + T_2 + T_3, \quad (1)$$

где T_1 – время задержки выхода судна из опорного пункта, (ч), определяем по выражению,

$$T_1 = t_{\text{сигн}} + t_{\text{сб}} + t_{\text{арыз}}, \quad (2)$$

$t_{\text{сигн}}$ – время с момента аварии до поступления сигнала на опорный пункт, принятое 15 мин. (0,25 ч) [2];

$t_{\text{сб}}$ – время оповещения и сбора команды, принятое 45 мин. (0,75 ч) [2];

$t_{\text{арыз}}$ – время погрузки оборудования на судно и подготовки судна к выходу на рубеж, принятое 30 мин. или (0,5 ч) [2].

T_2 – время, которое необходимо судну для доставки оборудования, от опорного пункта до рубежа локализации,

$$T_2 = \frac{S_c}{v_c \pm v_p}, \text{ ч}, \quad (3)$$

S_c – путь, который пройдет судно от опорного пункта до рубежа локализации, км;

v_c – скорость движения судна, км/ч;

v_p – скорость течения, км/ч.

T_3 – время постановки боновых ограждений и другого оборудования для локализации разлива на рубеже, принятое 1 ч [2].

Таким образом, время локализации разлива можно представить в следующем виде

$$t = \frac{S_c}{v_c \pm v_p} + 2,5, \text{ ч}. \quad (4)$$

И путь, который пройдет судно от опорного пункта до рубежа локализации можно определить из формулы (4) по выражению

$$S_c = (t - 2,5) \cdot (v_c \pm v_p), \text{ км}. \quad (5)$$

Так как положение рубежа локализации можно определить по формуле

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{он}} \pm S_c, \quad (6)$$

где $L_{\text{он}}$ – положение опорного пункта, км водного пути;

$L_{\text{пл}}$ – положение рубежа локализации, км водного пути,

то положение рубежа локализации в зависимости от времени разлива $L_{\text{пл}} = f(t)$ можно представить в виде

$$L_{\text{пл}} = L_{\text{он}} \pm (t - 2,5) \cdot (v_c \pm v_p), \text{ км}, \quad (7)$$

где «+» – знак, который ставится, если рубеж локализации расположен ниже по течению от опорного пункта;

«-» – знак, который ставится, если рубеж локализации расположен выше по течению от опорного пункта.

С учетом того, что время локализации разлива не может превышать 4 ч ($t \leq 4$ ч) и не может быть меньше 2,5 ч ($t \geq 2,5$ ч), то график оперативного реагирования АСФ в зависимости от времени разлива строится при $t = 2,5; 3,0; 3,5; 4,0$ ч.

Для подбора оптимального времени локализации необходимо наложить графики перемещения нефтяного пятна и оперативного реагирования от ближайших опорных пунктов. Проекция точки пересечения этих графиков на ось времени покажет минимальное время, за которое возможно осуществление локализации разлива нефти, а проекция точки пересечения на ось координат водного пути покажет положение рубежа локализации с минимальным распространением нефти по водному пути.

В качестве иллюстрации предлагаемого метода построен график оперативного реагирования АСФ и определен рубеж локализации от потенциального источника разлива 3000 т нефти на 886,2 км реки Волга (рисунок 2 и 3).

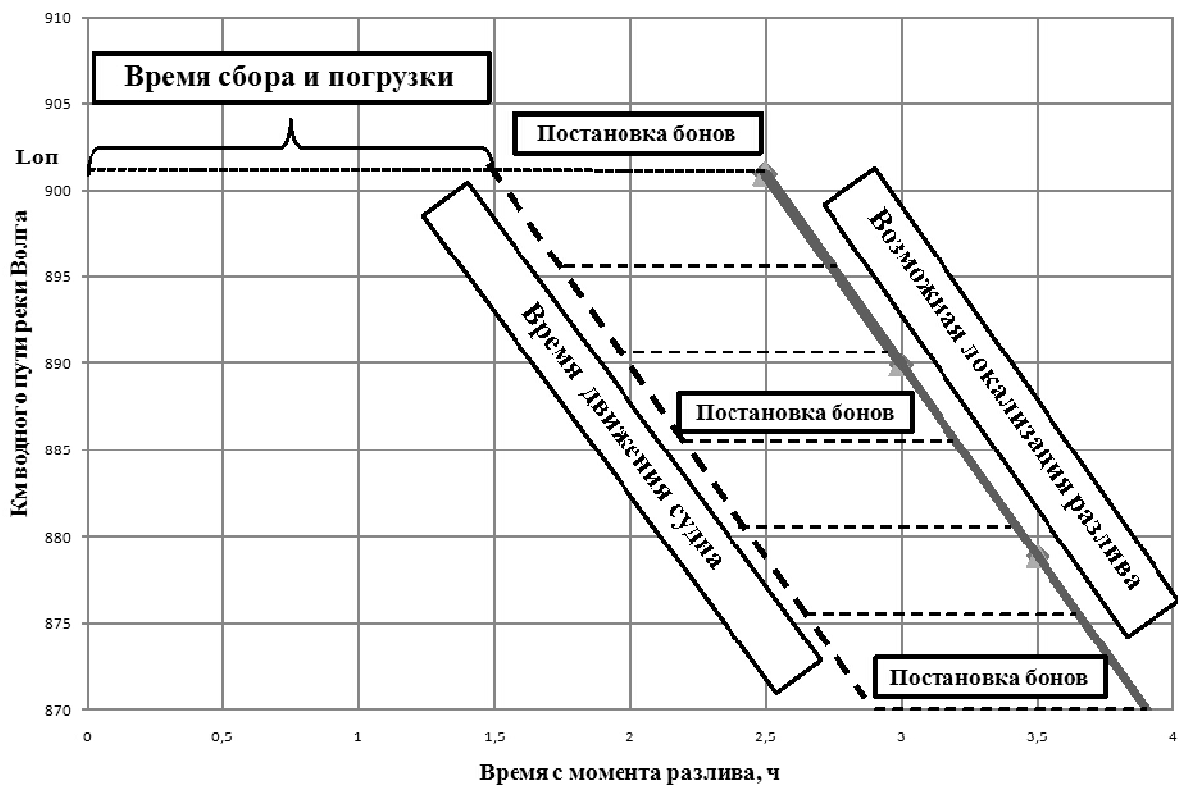


Рисунок 2 – График оперативного реагирования АСФ от опорного пункта 900,9 км в зависимости от времени с момента разлива

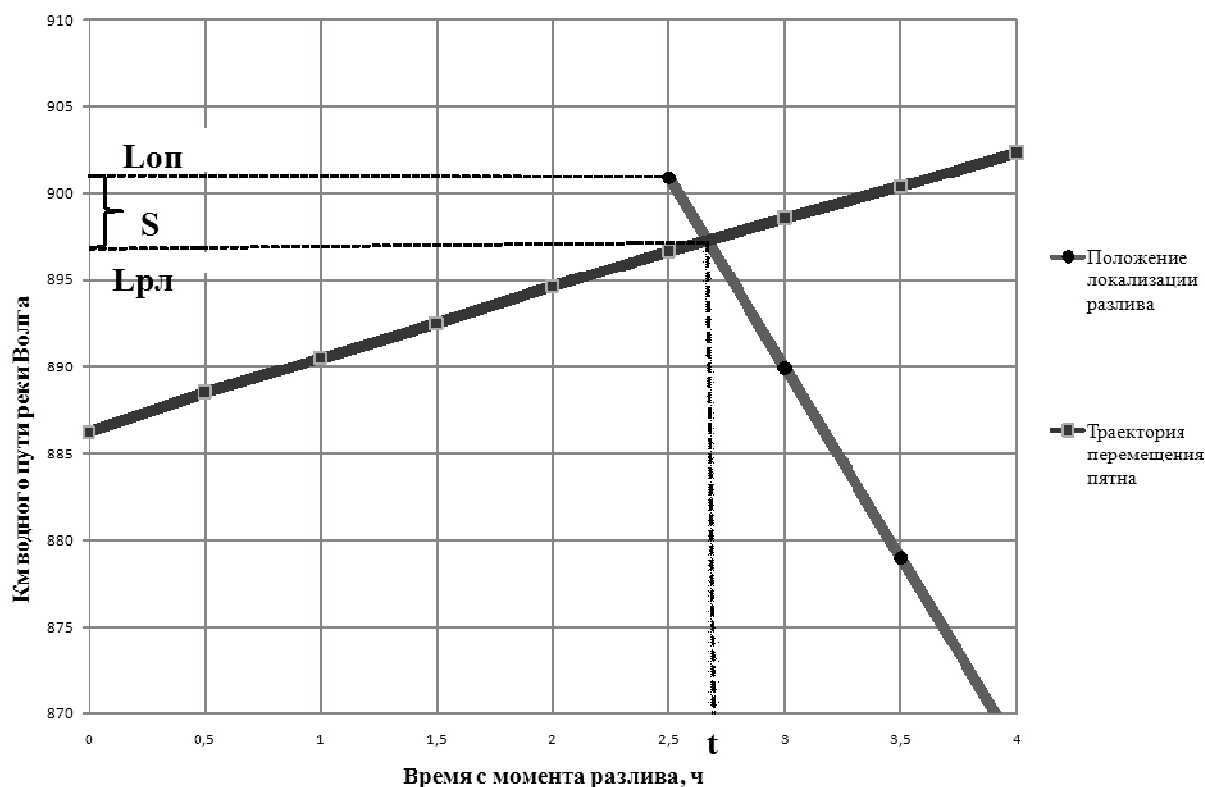


Рисунок 3 – График перемещения нефтяного пятна и оперативного реагирования АСФ от опорного пункта 900,9 км в зависимости от времени с момента разлива

Как видно из рисунка, точка пересечения траектории движения нефтяного пятна и траектории оперативного реагирования АСФ вдоль водного пути для опорного пункта 900,9 км составляет 2,7 ч. Исходя из этого, имеется возможность расположения рубежа локализации аварийного разлива нефти на 897 км реки Волга. Что позволит перенести местоположение

рубежа локализации на 5,4 км с 902,4 км на 897 км и в результате этого сократить ущерб ОС на 305 млн. руб.

Таким образом, в настоящей работе предложен метод снижения антропогенного воздействия разливов нефти на ВВП за счет обоснованного снижения времени их локализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 О порядке организации мероприятий по предупреждению и ликвидации разливов нефти и нефтепродуктов на территории Российской Федерации: Постановление Правительства РФ №240 от 15 апр. 2002 г.

2 Этин, В.Л. Методика расчета рубежей локализации и дислокации опорных пунктов ЛАРН // Международный научно-промышленный форум «Великие реки-2006»: тез. докл. / В.Л. Этин; НГАСУ. -Н.Новгород, 2006. -С. 202-203.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: разлив нефти, эксплуатация судов, антропогенное воздействие, метод снижения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Наумов Виктор Степанович, докт. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

Бородин Алексей Николаевич, аспирант ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

А.Г. Малышкин, В.К. Зефиров

ABOUT THE EFFICIENCY OF EXPLOITATIONS THE HOVERCRAFT SHIPS

«Volga state academy of water transport»

A.G. Malishkin, V.K. Zefirov

In this article the explanation of exploitations of passengers hovercraft ships is given.

Дано обоснование эффективности эксплуатации пассажирских судов на воздушной подушке. Обозначена необходимость проведения научно-исследовательских и опытно-конструкторских разработок в этой области.

Россия обладает развитой сетью речных путей, при этом развитие водного транспорта имеет ярко выраженный региональный аспект. Внутренние водные пути играют существенную роль и используются для транспортных коммуникаций в 65 субъектах РФ, а также обеспечивают внешнеэкономические связи с иностранными государствами. Ежегодно внутренним водным транспортом перевозится около 23 млн. пассажиров и 150 млн. т грузов, грузооборот составляет 90 млрд. ткм. Внутренний водный транспорт распространен и широко применяется как в Европейской части РФ с развитой сетью автомобильных и железных дорог на внутригородских, пригородных линиях и переправах, так и в районах Севера, Сибири и Дальнего Востока, где речной транспорт зачастую является единственным средством пассажирского сообщения.

Действующие пассажирские суда, построенные еще в советские годы, требуют больших и ежегодно увеличивающихся затрат на ремонт. Это связано, прежде всего, с их большим физическим износом. По своим параметрам эти суда часто не соответствуют условиям плавания и характеристикам пассажиропотоков. На фоне стремительного роста цен на энергоносители, необходимости повышения уровня комфортабельности и безопасности поездки пассажиров, практически повсеместно речные пассажирские перевозки убыточны. Убытки покрываются дотациями из бюджета регионов. Так, например, в Ханты-Мансийском автономном округе размер дотаций в 2007 г. составил порядка 150 млн. руб.

Более 75% от общего количества перевозок пассажиров на внутреннем водном транспорте относятся к социально значимым, выполняемым для удовлетворения жизненно важных потребностей населения (межрегиональные, пригородные, внутригородские маршруты и переправы). При этом повсеместно наблюдается рост социально значимых речных пассажирских перевозок. В том же Ханты-Мансийском автономном округе с 2002 по 2007 г. перевозки выросли в 1,4 раза (с 276 до 394 тыс. человек) при росте населения округа 1,5% в год. Согласно данным «Транспортной стратегии РФ до 2030 г.» перевозки пассажиров внутренним водным транспортом по инерционному варианту развития достигли в 2005 г. 20,7 млн. человек, в 2015 и 2030 г., соответственно достигнут 28,2 млн. человек, 38,7 млн. человек. По другим вариантам прогнозы еще более оптимистичные: к 2030 г. – 40,8 млн. человек и даже 43,4 млн. человек. То есть прослеживается явная тенденция к увеличению роли водного транспорта в перевозках пассажиров в стране.

Востребованность речных пассажирских перевозок заставляет конструкторов и судостроителей создавать новые суда, отвечающие современным условиям эксплуатации флота. Однако методические вопросы обоснования оптимального соотношения между параметрами судов и условиями эксплуатации не разработаны, конструкторские бюро не располагают информацией о пассажиропотоках, условиях плавания и берегового обслуживания флота. Поэтому многие совершенные по своим техническим характеристикам суда, спроектированные конструкторами, а иногда и построенные, не востребуются эксплуатационниками ввиду их неприемлемой убыточности в конкретных условиях эксплуатации.

Несмотря на очевидные положительные перспективы развития речного пассажирского транспорта в регионах с развитой сетью водных путей, проблемы в этой отрасли остаются. Среди них: отсутствие системы обновления флота, эффективного тарифного регулирования и управления речным пассажирским флотом; определение оптимального для каждой линии

типа судна согласно пассажиропотоку, условиям плавания, дальности поездки, возможности круглогодичного использования, уровню комфорта и целям поездки [1].

В последние годы проектно-конструкторскими предприятиями созданы несколько типов судов на воздушной подушке (СВП), наиболее распространенные из них: «Марс», «Хивус», «Ирбис», «Арктика» и др. Они успешно эксплуатируются в системе МВД, МЧС, судоходными компаниями на Волге, Иртыше, Амуре, Лене, на переправах, внутригородских и пригородных линиях, межрайонных маршрутах внутри областей. География использования СВП отечественного производства достаточно обширная: от Калининграда, Санкт-Петербурга, Нижнего Новгорода и Самары до Ханты-Мансийска, Благовещенска, Якутска и Владивостока. СВП – это инновационный прорыв на речном транспорте, они принципиально меняют представление о речном транспорте как о сезонном виде сообщения. Придание развитию этой отрасли статуса инновационной, стратегически важной для эффективного функционирования транспортно-перехваточного комплекса РФ должно стать заботой государства.

С 2008 г. в Нижегородской области действует круглогодичная переправа Нижний Новгород-Бор с использованием судов на воздушной подушке типа «Хивус-10» и «Марс-2000». На данной переправе введена технология интермодальных перевозок. То есть, пассажир едет по одному билету от автостанции в городе Бор до причала на левом берегу Волги, затем через Волгу на СВП и от причала на правом берегу до площади перед речным вокзалом в центре города снова на автобусе. Весь этот путь в одну сторону занимает 20-25 минут, а путь на рейсовом автобусе от автостанции в г. Бор до автостанции в Нижнем Новгороде – 60-80 минут.

Применение данной технологии позволяет речному пассажирскому флоту занять свою нишу в территориальном транспортном комплексе, а не вступать в прямую конкуренцию с другими видами транспорта, как это было ранее. Передача части пассажиропотоков с внутригородских и пригородных автобусных маршрутов на СВП позволит хотя бы частично разгрузить улицы крупных городов от автомобильных пробок [2]. Заинтересованные компании рассматривают возможность использования СВП в качестве «водного такси» на направлениях аэропорт, автозавод-железнодорожный вокзал. Здесь также возможна интермодальная схема с подвозом пассажиров на автобусе от аэропорта и центральной площади автозаводского района до берега реки Оки. Направляется организация пригородных линий Нижний Новгород-Балахна, Заволжье, Городец; Нижний Новгород-Дзержинск (по р. Оке) и др. Ждут СВП на переправах Пучеж-Сокольское, Макарьев-Лысково и многих других.

Но особенно актуальна организация таких линий в Северных регионах. Исторически сложилось так, что труднодоступные северные территории страны осваивались с помощью речных путей сообщения. И сегодня большинство населения Севера проживает в приречных районах. При этом на огромных расстояниях на реке Оби на участке от Сургута, на Енисее от Красноярска, на Лене от Усть-Кута до устья нет ни одного моста. Сообщение между населенными пунктами левого-правого берега осуществляется летом водоизмещающими судами, зимой на автомобилях по замороженным и специально подготовленным зимникам, а в межсезонье связь между берегами прекращается на 30-40 суток или в чрезвычайных ситуациях осуществляется с помощью дорогостоящего вертолетного транспорта. СВП могли бы решить проблему круглогодичной связи.

Особенно характерна в этом отношении ситуация в Ханты-Мансийском автономном округе – Югре, где железная дорога «упирается» в р. Обь на левобережной станции Приобье (речной порт Сергино). Снабжение правобережного Октябрьского района осуществляется от ст. Приобье, до районного центра Октябрьское, расположенного напротив порта Сергино, по традиционной схеме (в судах или по зимнику). Расстояние от пассажирских причалов порта Сергино до Октябрьского для водоизмещающих судов по глубокой воде составляет 60 км. Для СВП не существует проблем мелководья и этот путь может быть сокращен в 2-3 раза [3].

Представляется реальной организация интермодального сообщения Приобье-Игрим: на СВП по Оби от Приобья до пристани Нарыкары (102 км) и далее автобусом до Игрима (30 км). На этом направлении стабильно сохраняется устойчивый круглогодичный пассажиропоток. Протяженность маршрута Приобье-Игрим в прямом водном сообщении составляет 340 км с пересадкой в Березово.

При внимательном рассмотрении этой проблемы становится очевидным, что число подобных маршрутов и на сибирских, и на европейских реках практически не ограничено. Почему же тогда этот прогрессивный вид транспорта развивается медленными темпами? Мно-

гое объясняется болезнью роста, трудностями становления этой отрасли. Есть технические недостатки и слабая надежность отдельных узлов, отсутствуют багажные отделения достаточной емкости (что очень важно для северных пассажиров), не организована подготовка профессиональных судоводителей этих транспортных средств, отсутствует научно обоснованная сетка типов СВП, из которой заинтересованные предприятия могли бы выбирать для себя тип СВП, наиболее соответствующий по своим параметрам условиям эксплуатации, в публикациях нет серьезных обоснований экономической эффективности использования СВП в навигационном и круглогодичном режиме, и ряд других проблем, вполне разрешаемых взаимными усилиями судостроительных и эксплуатационных предприятий и научных учреждений.

Характеристики основных типов судов на подводных крыльях (СПК) и воздушной подушке (СВП), эксплуатируемые на реках России и их зарубежных аналогов приведены в таблице 1, [4].

Экономическая эффективность СВП – понятие относительное. Использование СВП можно сравнивать с водоизмещающими судами и СПК, с автобусами, так-

Таблица 1 – Основные характеристики судов СПК и СВП (класс Российского речного регистра – озерное «О»)

Тип судна	Пассажировместимость, человек	Мощность, л.с.	Экипаж, человек	Скорость, км/ч
СПК «Ракета»	70	1000	3	60
СПК «Метеор»	120	2×1000	3	65
СПК «Восход»	71	1000	3	60
СПК «Линда»	70	900	3	55
СВП «Заря» (скеговое)	66	900	2	43
СВП «Марс-3000»	30	2×250	3	70
СВП «Марс-2000»	18	2×110	2	70
СВП «Марс-700»	7	110	1	65
СВП «Ирбис»	25	2×150	2	60-80
СВП «Пума»	16	2×120	2	65
СВП «Арктика»-3д	25-30	2×360	2	70
СВП «Арго»	10	160	1	75
СВП «Хивус-10»	10	143	1	50
СВП «Аллигатор»	10	160	1	–
СВП «SAH 2200»	20	140	1	65
СВП «Griffon 3000TD»	20-25	440	1	60

си, пригородными электричками и вертолетами. Уровень доходов населения в разных регионах разный, соответственно будет разной и предельное значение цены билета, и разный плановый уровень рентабельности и, следовательно, разная эффективность.

Таблица 2 – Себестоимости перевозок пассажиров

Показатели	Значение показателей по типам судов			
	СВП-1	СВП-2	СВП-3	СВП-4
Строительная стоимость, млн. руб.	2	8	12	20
Пассажировместимость, человек	8	18	30	60
Мощность главного двигателя, л.с.	110	220	320	600
Расход топлива, г/(л.с.·ч)	200			
Расход смазочного масла, кг/ч	0,55	1,10	1,60	3,20
Скорость вода/лед, км/ч	50/70			
Экипаж (две смены), человек	2	4	4	6
Заработная плата одного члена экипажа (лето/зима), руб./сутки	20/23	22,5/25	25/28	23,3/27
Рацион коллективного питания, руб./сутки	85			
Социальный налог, %	26			
Надбавка к заработной плате, %	40			
Расход топлива на обогрев салона в зимний период, кг/ч	0,55	1,10	1,60	3,20
Цена топлива, руб./кг	24			
Цена смазочного масла, руб./кг	70			
Все виды ремонта, тыс. руб./год	62	260	380	660
ЗИП, материалы, инвентарь, тыс. руб./год	350	670	900	1500

Нами произведен расчет себестоимости перевозок пассажиров (руб./пасс. км) для СВП разной пассажировместимости на маршрутах разной протяженности. За основу приняты ус-

ловия европейской части России: навигационный период 200 суток, период зимней эксплуатации – 130 суток, работа только в светлое время суток (летом 12 ч в сутки, зимой 10 ч в сутки). Исходные данные для расчетов, приведенные в таблице 2, получены из разных источников (от судостроительных и эксплуатационных компаний).

Результаты расчетов себестоимости перевозок на линиях разной протяженности, по прямым расходам, при нулевой рентабельности и полном использовании пассажироместимсоты приведены в таблице 3.

Наши расчеты дают лишь общее представление об эффективности использования СВП. Точные результаты для конкретных линий могут быть получены при наличии полных и объективных исходных данных. Естественно, что судоходные компании должны будут учесть распределяемые расходы, возможное недоиспользование пассажироместимсоты, заложить достижение некоторого уровня рентабельности и т.д. По нашим оценкам эти добавки могут увеличить расходы, относимые на себестоимость, примерно в 1,5 раза.

Цена билета (руб./пассажира) рассчитывается как произведение себестоимости перевозок (руб./пасс.км) на дальность поездки (км). Согласно данным таблицы 3 для СВП второго типа на линии протяженностью 100 км цена билета составит 260 руб., а при увеличении расходов в 1,5 раза – 390 руб. Для сравнения: цена билета на т/х «Метеор» на маршруте Приобье-Нарыкары (102 км) составляет 535 руб., а на вертолете из Приобье в Игрим (100 км) можно прилететь за 1200-1500 руб. [5].

Расчеты для круглогодичного периода эксплуатации (330 суток) показывают, что себестоимость перевозок несколько снижается по сравнению с навигационным периодом (200 суток). Расстояние перевозок влияет на себестоимость через некротность продолжительности кругового рейса и рабочего (светлого) времени в сутки. Например, если круговой рейс равен 6 ч, то за рабочий период (12 ч) СВП сделает два круговых рейса, а если 7 ч, то судно выполнит один круговой рейс и будет иметь 5 ч простоя. При 7 ч круговом рейсе расстояние перевозки на 25-30 км больше, а себестоимость возрастает на 20-25%.

Наши предварительные расчеты подтверждают сложившееся мнение об эффективности использования отечественных СВП на перевозках пассажиров по речным трассам как в летний, так и в зимний период. Но исследование проблемы использования СВП необходимо продолжать. Конструкторы должны работать над повышением надежности отдельных узлов (маршевых винтов, приводных ремней, скегов), решить проблему обледенения при движении по открытой воде при минусовой температуре, найти дополнительные площади для размещения багажа (что очень важно для северных пассажиров). Эксплуатационники должны обобщать опыт использования этих судов, находить для них более эффективные маршруты, находить способы поддержания в рабочем состоянии зимние трассы, решить проблему зимнего ремонта и отстоя. Перед учеными стоит задача создания сетки типов СВП, отвечающих их эффективной эксплуатации в разнообразных условиях всех регионов России, разработки транспортных стандартов для речных пассажирских перевозок (это одно из требований «Транспортной стратегии РФ»), [6], разработки современной методики обоснования тарифов на речные пассажирские перевозки и другие задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бубякин, В.С. Проблемы и перспективы пассажирских речных перевозок / В.С. Бубякин, В.И. Минеев // Реч. трансп. -2006. -№3. -С. 77-79.
- 2 Емельянов, В.О путях развития речного пассажирского транспорта пригородного сообщения / В.О. Емельянов // Реч. трансп. -2007. -№2. -С. 55-56.
- 3 Малышкин, А.Г. Проблемы речных пассажирских перевозок в регионах с ограниченно развитой сетью наземного транспорта / А.Г. Малышкин, С.Г. Сандулов // Реч. трансп. -2009. - №1. –С. 30-33.
- 4 Итальянцев, С.А. Сравнительный анализ судов на воздушной подушке. Выбор опти-

Таблица 3 – Результаты расчета себестоимости перевозок пассажиров для СВП разных типов за навигационный период 200 суток, руб./пассажиро-км

Протяженность маршрута, км	СВП-1	СВП-2	СВП-3	СВП-4
Переправа	3,30	3,35	–	–
20	3,16	3,02	2,95	2,21
50	3,16	3,02	2,89	1,99
100	–	2,60	2,25	1,76
150	–	2,80	2,31	1,86

мальной модели / С.А. Итальянцев // Реч. трансп. -2007. -№5. –С. 54-56.

5 Зефилов, В.К. Эксплуатационно-экономические преимущества судна на воздушной подушке типа «Марс-2000» / В.К. Зефилов // Вестник ИНЖЕКОН, выпуск №3 (22), 2008. - С. 365-367.

6 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г. Утверждена постановлением Правительства РФ 22 ноября 2008 г. №1734-р.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *эффективность эксплуатации пассажирских судов на воздушной подушке*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Малышкин Александр Георгиевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

Зефилов Владимир Кириллович, аспирант ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *603600, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»*

ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ БАЛЛАСТНЫМИ ВОДАМИ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Н.В. Сустретова, В.Л. Этин

THE PROBLEM OF CONTROL OF BALLAST WATER AND WAYS OF SOLVING IT
«Volga state academy of water transport»

N.V. Sustretova, V.L. Etin

The article discusses methods of controlling the ballast water for removing, rendering safe of harmful water and pathogenic organisms or for preventing their reception or disposal from ships.

Рассмотрены методы управления балластной водой для удаления, обезвреживания вредных водных и патогенных организмов или для избежания их приёма или сброса с судов.

Технология перевозки грузов морским и речным транспортом предусматривает в порожних рейсах наличие на борту судна определенного количества забортной балластной воды в зависимости от типа судна и его грузоподъемности. Это необходимо для того, чтобы при отсутствии на борту груза, обеспечить необходимые мореходные качества. Некоторые типы судов (например, контейнеровозы) требуют постоянного наличия определенного количества балласта для регулировки посадки судна (крена и дифферента) в процессе рейса.

В балластной воде могут содержаться вредные водные и патогенные организмы, которые, будучи внесёнными в море, включая эстуарии, или пресноводные водотоки, могут создавать опасность для окружающей среды, здоровья человека или ресурсов, ухудшать биологическое разнообразие региона или препятствовать нормальной жизнедеятельности естественных видов.

На основании «Руководства по контролю водяного балласта судов и управлению им для сведения к минимуму переноса вредных водных и патогенных организмов» (Резолюция А.868(20)), документа, созданного в 1991 г., дополненного в 1993 г. и переработанного в 1997 г., была разработана и принята новая международная конвенция, устанавливающая обязательные общемировые стандарты качества балластной воды, – Международная Конвенция по контролю и обработке судового водяного балласта и осадков 2004 года (International Convention for the Control and Management of Ships' Ballast Water and Sediments, 2004), [1], которая в апреле 2007 года была одобрена и принята Россией.

Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими вступает в силу через двенадцать месяцев после даты, на которую не менее тридцати государств, общая валовая вместимость торговых судов которых составляет не менее тридцати пяти процентов валовой вместимости судов мирового торгового флота, либо подписали её без оговорки относительно ратификации, принятия или утверждения, либо сдали необходимый документ о ратификации, принятии, утверждении или присоединении к ней, [1]. По данным ИМО, на апрель 2009 года, вместе с Россией Конвенцию приняли 18 государств, процент мировых грузоперевозок которых составляет 15,36%. На сегодняшний день документ пока не вступил в силу, но тот факт, что для вступления остается привлечь менее половины от заявленного состава государств, говорит о необходимости быть готовыми к выполнению стандартов обращения с балластными водами.

Для осадков (которые представляют собой вещества, выпавшие из балластных вод внутри судна) в портах и на терминалах, где производится очистка или ремонт балластных танков, должны быть предусмотрены сооружения для их приёма. Такие сооружения обязаны

эксплуатироваться, не вызывая необоснованных задержек судов с обеспечением безопасного удаления таких осадков.

На каждом судне в обязательном порядке должен иметься и выполняться план управления балластными водами, в котором подробно излагаются процедуры безопасности для судна и экипажа, относящиеся к управлению балластными водами, описаны действия, которые должны предприниматься для выполнения требований Конвенции, подробно изложены процедуры удаления осадков.

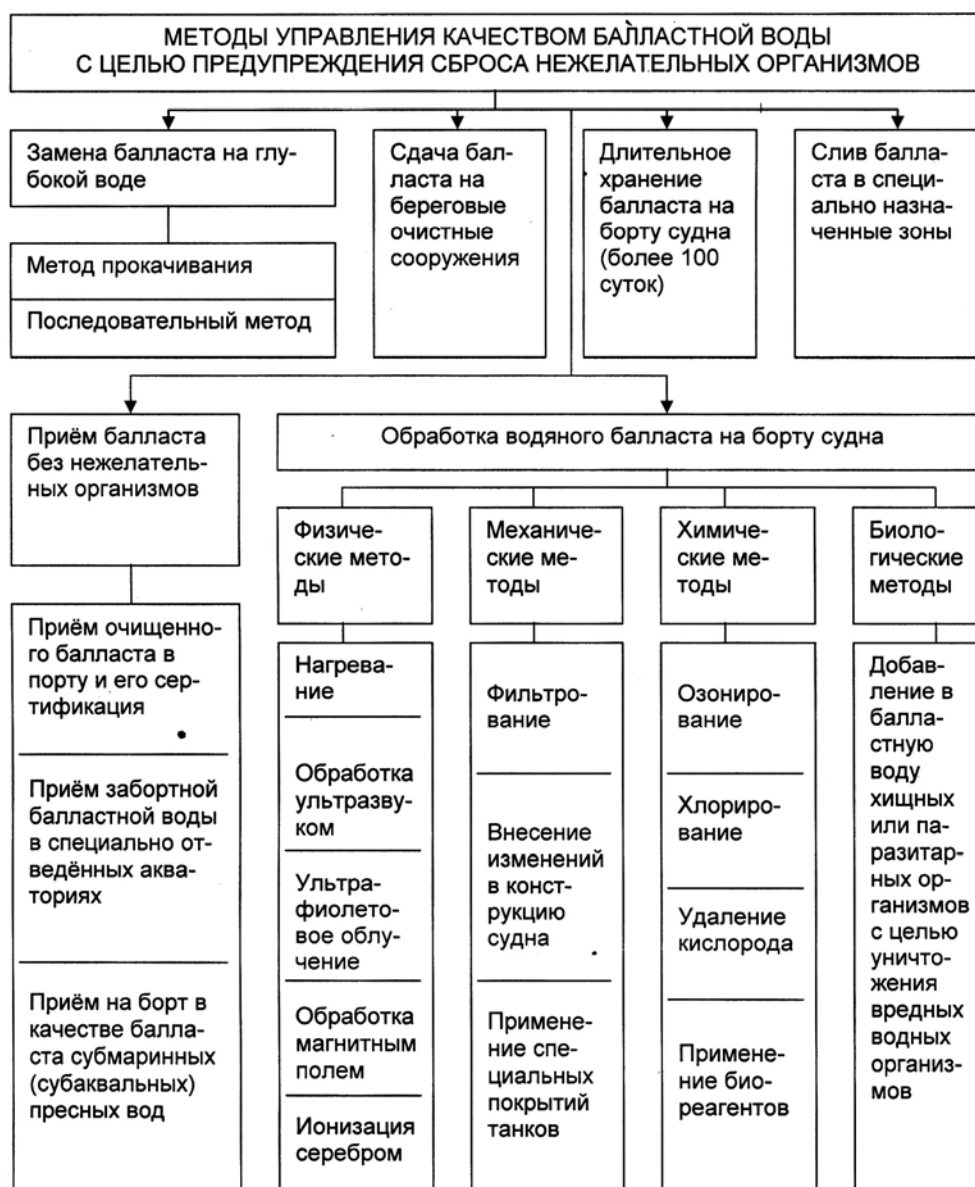


Рисунок 1 – Методы управления качеством балластных вод с целью предупреждения сброса нежелательных организмов

На судах должен быть журнал операций с балластными водами, который может быть системой электронной регистрации или являться частью другого журнала либо системы и который содержит информацию о любых операциях с балластной водой.

Кроме этого, суда обязательно проходят освидетельствования на предмет выполнения положений Конвенции и получают Свидетельство сроком до пяти лет. В Свидетельстве кроме сведений о судне указываются сведения об используемых методах управления балластными водами, стандарты которых описаны в правилах D-1, D-2 и D-4. В правиле D-1 даётся стандарт замены балластных вод, в правиле D-2 приводится стандарт качества балластных вод, а в правиле D-4 характеризуется прототип технологий обработки балластных вод.

Стандарт замены предполагает смену всего балласта на судне, по меньшей мере, 95%

по объёму или прокачку не менее трёхкратного объёма каждого балластного танка на удалении от ближайшего берега минимум 50 морских миль и глубине воды 200 м.

Стандарт качества балластных вод диктует сбрасывать менее десяти жизнеспособных организмов на 1 м³, минимальный размер которых равен 50 мкм или более, и менее десяти жизнеспособных организмов на 1 мл, минимальный размер которых менее 50 мкм и равен 10 мкм или более; при этом сброс индикаторных микробов не должен превышать следующих установленных концентраций индикаторных микроорганизмов:

- токсигенный вибрион холеры (O1 и O139) с менее чем 1 колониеобразующей единицей (кое) на 100 мл или менее 1 кое на 1 г (сырого веса) образцов зоопланктона;
- кишечную палочку – менее 250 кое на 100 мл;
- кишечные энтерококки – менее 100 кое на 100 мл.

Перспективные технологии обработки балластных вод, которые могут привести к появлению технологий обработки, позволяющих достичь более высокого стандарта, чем тот, который указан в правиле D-2, должен участвовать в программе испытаний и оценки, и данное правило к нему не применяется в течение пяти лет с даты установки такой технологии. При разработке технологий необходимо учитывать:

- безопасность судна и экипажа;
- экологическую приемлемость;
- практичность;
- экономичность;
- биологическую эффективность.

В настоящее время существует ряд методов управления качеством балластной воды для предотвращения сброса нежелательных организмов (рисунок).

Замена балласта. Существует два способа смены балласта в море: последовательный способ и способ прокачивания. При смене балласта на глубокой воде вдали от прибрежного шельфа и устьев рек оба способа одинаково эффективны (примерно 95%) для устранения водных организмов. Однако оба способа содержат в себе также и определенный риск для судна.

Стандарт замены балластных вод говорит о том, что суда, производящие замену балластных вод в соответствии с настоящим правилом, выполняют это с эффективностью замены балластных вод, составляющей, по меньшей мере, 95% по объёму. Для судов, производящих замену балластных вод методом прокачки, прокачка трехкратного объёма у каждого танка водяного балласта считается отвечающей стандарту.

От судна не требуется соблюдение стандарта замены балласта если:

- в морских районах расстояние от ближайшего берега и глубина не соответствуют описанным выше параметрам;
- если выполнение стандарта требует отклонения судна от предполагаемого рейса или откладывает рейс;
- если капитан разумно решает, что такая замена будет угрожать безопасности судна, безопасности его экипажа или пассажиров.

Надо заметить, что требования, предъявляемые дополнительно к Конвенции прибрежными государствами, более жесткие. Например, «Руководство по управлению сбросом водяного балласта с судов в водах, находящихся под юрисдикцией Канады» диктует глубину для замены балласта от 300 м [2].

Суда смешанного плавания изначально не могут выполнить требование конвенции по замене балласта, так как район плавания разных типов этих судов ограничен Классом Регистра до 50 или 100 миль, а для ряда судов и 20-ти мильной зоной. Кроме того, указываются и условия волнения в баллах и ограничения по высоте волны, причём, при ходе судна с балластом эти условия могут быть жестче (например, волнение 5 баллов допускается для случая плавания судна с грузом и 4 балла для плавания судна порожнем с балластом) [3].

Опасность для судна может возникать вследствие изменения нагрузки на корпус, что ведет к нарушению продольной прочности; образования свободных поверхностей жидкости в танках; образования волн внутри танков, что может привести к разрушению их конструкции; увеличения нагрузки на всю балластную систему при перепрессовании танков; ухудшение параметров остойчивости также будет иметь место.

Применение таких методов управления качеством балластной воды как береговая обработка, сохранение балласта на судне в течение длительного времени, слив балластных вод в специально назначенные зоны замены балласта, приём на борт пресных субмаринных

(субаквальных) вод [4], сертификация чистого балласта, требует большой подготовительной работы и значительных экономических затрат.

Проанализировав более ста типов судов смешанного (река-море) плавания, построенных и эксплуатирующихся под надзором Российского Речного и Морского Регистра, были сделаны следующие выводы:

- суда, с объёмом балластных вод менее 1500 м³ 32%;
- суда, с объёмом балластных вод от 1500 до 5000 м³ 68%;
- суда, с объёмом балластных вод более 5000 м³ 0%.

Исходя из этого, при условии вступления Конвенции в силу, 68% судов смешанного плавания должны будут выполнять стандарт качества балластных вод D-2 с 2014 г., а остальные 32% – с 2016 г.

Обработка водяного балласта на борту судов смешанного «река-море» плавания является наилучшим и безопасным решением данной проблемы в первую очередь из-за сравнительно небольших объёмов балластных вод этих судов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Международная конвенция о контроле судовых балластных вод и осадков и управлении ими 2004 года. -СПб.: ЦНИИМФ, 2005. -120 с.

2 Руководство по управлению сбросом водяного балласта с судов в водах, находящихся под юрисдикцией Канады от 1 сентября 2000 г. с измен.

3 Справочник по серийным транспортным судам. Т.2 / ЦБНТИ МРФ. -М.: Транспорт, 1973. -296 с.

4 Каримова, О.А. Вода под водой: проект 04-05-65466 / О.А. Каримова, И.С. Зекцер; ИВГ РАН, лаб. регион. гидрогеол. пробл.; при поддержке Рос. фонда фундамент. исслед.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: качество балластной воды, Конвенция, методы управления, стандарты, водные организмы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сустретова Наталья Владимировна, старший преподаватель ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

Этин Владимир Львович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»
603600, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5, ФГОУ ВПО «Волжская ГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ПОВТОРЯЕМОСТЬ ПОГРЕШНОСТЕЙ КУРСА СПУТНИКОВОГО КОМПАСА JLR-10T

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

PERIODICITY OF THE ERROR RATES OBTAINED WITH GPS COMPASS JLR-10T

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.A. Komarovskiy

In this work we observed a stable advance in the error rate for heading obtained with a GPS compass JLR-10T on a stationary vessel. We also suggested a method of determining that shift over a 24-hour interval. Experimental results showed that the error rate is periodic in time with period equal to one sidereal day.

Обнаружено устойчивое опережение хода погрешностей курса спутникового компаса JLR-10T на неподвижном судне. Предложен способ определения суточного смещения хода погрешностей. Обработка результатов экспериментальных наблюдений показала, что погрешности повторяются с периодом, равным звёздным суткам.

В последние два года морские суда Дальневосточного бассейна стали оснащаться спутниковыми компасами, работающими по сигналам спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS. Принцип их работы основан на измерении разности фаз сигнала, приходящего от одного и того же спутника на разнесённые антенны [1, 2]. Несмотря на активное использование за рубежом таких компасов как минимум в течение последних пяти лет, до сих пор отсутствуют сведения о точности их работы. В технических описаниях некоторых компасов указывается в качестве оценки точности величина $\pm 0,5^\circ$. В технических описаниях других компасов оценка точности определения курса судна вообще отсутствует.

Оценка точности спутникового компаса связана с определением влияния движения спутников относительно географического места судна, положением базы в пространстве, влиянием состояния трансферного канала распространения сигнала от спутников в

различное время суток. С характеристиками точности компаса также неразрывно связаны его чувствительность, быстродействие и разрядность представляемой информации.

Понятно, что характеристики точности спутникового компаса можно получить в результате обработки наблюдений на абсолютно неподвижном судне. Поэтому в качестве места наблюдений был избрано малое судно «Fesco» (РПВ-2267), установленное на зимнюю стоянку на кильблоках на берегу бухты Золотой Рог в г. Владивосток. Судно принадлежит ОАО «Дальневосточное морское пароходство». На судне установлен спутниковый компас (GPS Compass) JLR-10T (серийный номер KE 46815), изготовленный компанией JRC (Japan Radio Corporation). Данный компас относится к двухантенным компасам, то есть имеющим одну измерительную базу. В состав комплекта входит антенная система с базой, ориентированной вдоль диаметральной плоскости судна, приёмно-вычислительное устройство и жидкокристаллический индикатор, совмещённый с кнопочным пультом управления. Помимо выполнения функций компаса JLR-10T работает как обычный навигационный приёмник СРНС Навстар GPS, определяя текущие обсервованные координаты, компоненты вектора абсолютной скорости судна, как в автономном режиме приёма, так и в дифференциальном режиме.

Для разрешения многозначности в спутниковых компасах с одной базой применяется встроенный твёрдотельный цифровой магнитный компас. Обычно он встраивается в антенную систему. В JLR-10T цифровой магнитный компас встроен в корпус приёмно-вычислительного устройства, что предполагает эксплуатацию JLR-10T на судах с немагнитным корпусом. Расстояние между фазовыми центрами приёмных антенн (длина измерительной базы) составляет у этого компаса всего 500 мм. Так как такая база считается короткой, то JLR-10T заранее нельзя отнести к разряду высокоточных спутниковых компасов [2].

Экспериментальные наблюдения за работой JLR-10T выполнялись автором с 19 октября по 23 октября 2009 г. в утренние, дневные, вечерние и ночные часы суток. Компас на судне «Fesco» смонтирован как элемент системы АИС. Поэтому физически было невозможно подключить к нему ноутбук для автоматизации записи данных о курсе в формате NMEA 0183. В силу этого обстоятельства записи приходилось делать вручную в бумажные протоколы. Записи делались через 2-3 с сериями длительностью по 20-25 мин. каждая. За один час удавалось сделать до двух таких серий. После завершения наблюдений собранный материал был оцифрован для последующей обработки. Выбранный подход к проведению наблюдений преследовал следующие цели: получение оценок статистических характеристик распределения курсов судна, а также получение статистического материала для исследования динамики изменения характеристик распределения.

Преыдушие исследования погрешностей определения обсервованных координат, выполненные автором, показали зависимость этих погрешностей от расположения спутников СРНС Навстар GPS относительно антенны приёмника. Поскольку спутники системы GPS обращаются вокруг Земли с постоянным периодом, то неизбежно возникают явления повторения одинакового расположения спутников относительно антенны приёмника. Следовательно, можно предположить повторяемость одинаковых погрешностей обсервованных координат. Аналогичные рассуждения можно провести и для погрешностей определения курса спутниковым компасом. Чтобы проверить такое предположение следует провести непрерывные экспериментальные наблюдения в течение нескольких суток с автоматической фиксацией значений курсов на жёстком диске компьютера. К сожалению, этого выполнить не удалось. Поэтому для проверки повторяемости погрешностей курса был применён приём фиксации значений курсов в одни и те же моменты времени суток. Для этого с 20 по 23 октября в 14:15 начинались дополнительные серии записей курсов в течение 45-55 мин. Значения курсов считывались с экрана и записывались в протокол через каждые 5 с. Фиксации курсов, а также определение точного времени начала записей серий осложнялись тем, что на экране JLR-10T отсутствует секундный отсчёт текущего времени. Поэтому моменты считывания курсов определялись по секундомеру. Графики изменений курсов в этих сериях представлены на рисунке 1.

Рассчитанные характеристики точности определения курсов компасом JLR-10T для этих четырёх серий наблюдений помещены в таблицу 1.

Сопоставление графиков и рассчитанных характеристик позволяют сделать следующие выводы. Во-первых, обнаруживается значительная изменчивость показаний курса, доходящая до 6,8 градуса. Частично такое явление можно объяснить местом стоянки судна, в которой северная часть горизонта была закрыта высокой горой полуострова Шкота. Но если

предположить, что такая ситуация может возникнуть при плавании вблизи высоких берегов, то вряд ли обнаруженная точность определения курса компасом JLR-10T удовлетворит требованиям, предъявляемым к современным курсоуказателям. Во-вторых, наблюдается постоянство средних значений курсов и средних квадратических отклонений. Это факт частично подтверждает предположение о повторяемости суточного хода погрешностей измерения курса спутниковым компасом. В-третьих, характер изменения курса в каждой серии представляет собой суперпозицию нескольких колебаний, среди которых явно прослеживаются колебания с периодами порядка 50 мин. и 2-3 мин. Причём наблюдаются флуктуации амплитуд и фаз этих колебаний. В-четвёртых, на графиках видно появление характерных участков хода изменения курса на несколько минут раньше от суток к суткам. Наименьшее значение курса 20 октября наблюдается приблизительно через 18 мин. после начала серии. Этот же минимум наступает 21 октября уже через 16 мин., 22 октября он обнаруживается приблизительно через 9 мин., а 23 октября – приблизительно через 4 мин. от начала серии. Так как моменты начала наблюдений этих серий точно не выдерживались, то полученные в них данные не позволяют с высокой точностью определить суточные временные опережения.

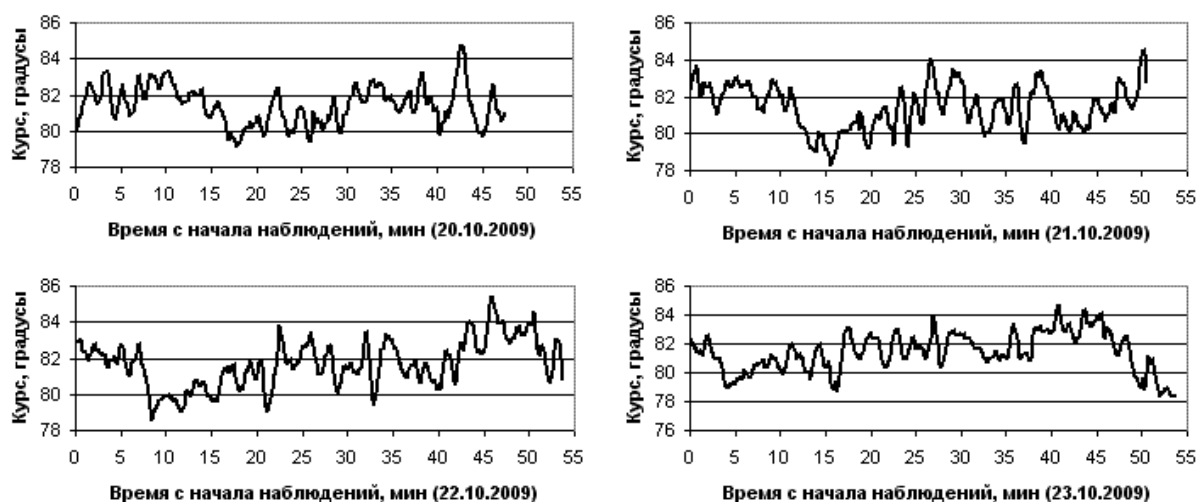


Рисунок 1 – Изменения курсов JLR-10T с 14:15 часов с 20 по 23 октября 2009 г.

Таблица 1 – Статистические характеристики распределений курсов в наблюдениях с 20 по 23 октября 2009 г.

Статистические характеристики	День наблюдений			
	20 октября	21 октября	22 октября	23 октября
Среднее, градусы	81,46	81,44	81,71	81,44
Среднее квадратичное отклонение, градусы	1,07	1,19	1,31	1,35
Размах варьирования, градусы	5,7	6,2	6,8	6,4

21 и 23 октября были проведены записи ещё двух серий наблюдений через 5 с. Они начинались в 11:00. Моменты начала наблюдений были выдержаны с точностью ± 5 с. Графики изменения курсов этих наблюдений представлены на рисунке 2.

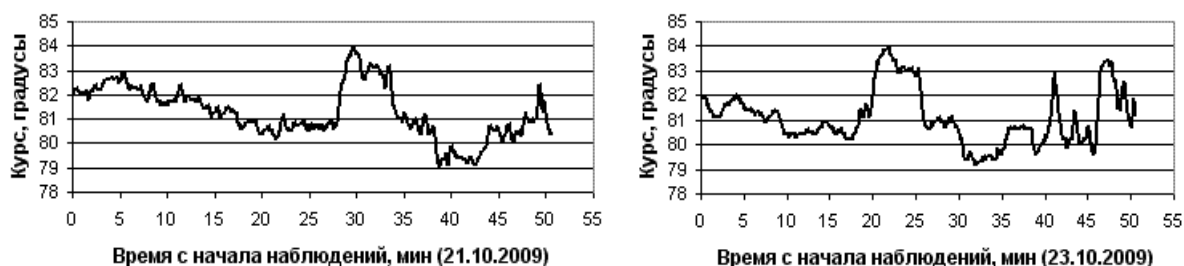


Рисунок 2 – Изменения курсов JLR-10T с 11:00 часов с 21 и 23 октября 2009 г.

Среднее значение курсов в серии 21 октября составило $81,29^\circ$, среднее квадратическое

равно $1,07^\circ$, размах варьирования равен 5° . В серии 23 октября эти характеристики приняли значения $81,11^\circ$; $1,11^\circ$ и $4,8^\circ$ соответственно.

На графиках рисунка 2 видно, что момент наступления пика характерного максимума курсов в наблюдениях 23 октября (правая панель) наступает почти на 8 мин. раньше. Следовательно, за одни сутки происходит сдвиг, приблизительно равный 4 мин.

Для точного расчёта интервала времени, на который произошёл сдвиг хода зарегистрированных курсов 23 октября относительно хода курсов, зарегистрированных 21 октября, был применён способ, основанный на вычислении коэффициента корреляции между сериями. Если смещать начало отсчёта временного ряда наблюдений 21 октября относительно временного ряда, полученного 23 октября, и на каждом шаге сдвига вычислять коэффициент их взаимной корреляции, то максимальное значение коэффициента корреляции будет соответствовать искомому сдвигу. Результаты вычислений коэффициентов корреляции таким способом для временных рядов 21 и 23 октября можно видеть на рисунке 3.

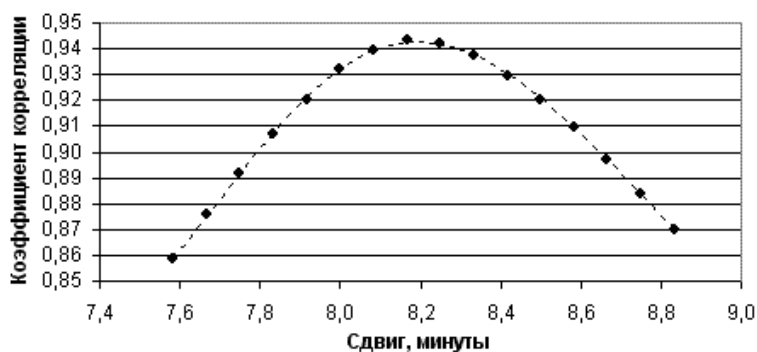


Рисунок 3 – Влияние временного сдвига на тесноту корреляционной связи между наблюдениями 21 и 23 октября

Максимальное значение коэффициента корреляции, равное 0,9433, соответствовало сдвигу в 8,16667 мин. О тесноте статистической связи между значениями курсов в наблюдениях 21 и 23 октября можно судить по их регрессии, представленной на рисунке 4.

Полученное регрессионное выражение, отражающее статистическую взаимосвязь между зарегистрированными значениями курсов 21 и 23 октября, имеет следующий вид

$$K_{21} = 0,9158K_{23} + 6,8678,$$

где K_{21}, K_{23} – значения курсов компаса JLR-10Т, зарегистрированные 21 и 23 октября 2009 г. соответственно при временном сдвиге 8,16667 мин.

Величина коэффициента при K_{23} близка к единице, что подтверждает высокую тесноту статистической связи. Она могла быть и выше, если бы сравнивались наблюдения, выполненные в смежных сутках.

Как уже упоминалось выше, наблюдения выполнялись с шагом в 5 с. Поэтому возникает необходимость дальнейшего уточнения величины временного сдвига. С этой целью было получено регрессионное выражение, связывающее величины коэффициентов корреляции и величины временного сдвига. Оно представляло собой полином пятой степени. График этой зависимости изображён на рисунке 3 в виде пунктирной линии. Для получения уточнённого значения временного сдвига, при котором аппроксимирующий полином, а, следовательно, и коэффициент корреляции, достигает максимума, было вычислено такое значение сдвига, при котором первая производная полинома равнялась нулю. Эта величина получилась равной 8,1927 мин. за двое суток. Следовательно, за сутки происходит опережение хода значений курсов на 4 мин. и 5,78 с. Этот результат вполне сопоставим с разницей между продолжительностью средних солнечных суток и продолжительностью звёздных суток. Звёздные сутки короче на 3 мин. и 56,55 с. Отклонение на 9,23 с рассчитанного сдвига от разницы между солнечными и звёздными сутками можно объяснить несинхронностью моментов начала проведения наблюдений, а также влиянием нестабильности параметров

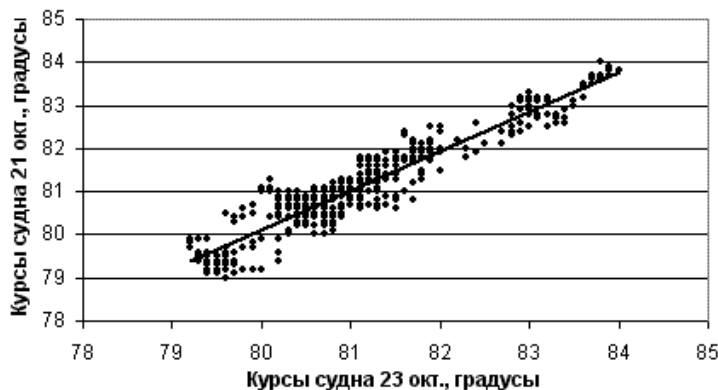


Рисунок 4 – Регрессионная зависимость между значениями курсов при временном сдвиге 8,16667 мин.

этой зависимости изображён на рисунке 3 в виде пунктирной линии. Для получения уточнённого значения временного сдвига, при котором аппроксимирующий полином, а, следовательно, и коэффициент корреляции, достигает максимума, было вычислено такое значение сдвига, при котором первая производная полинома равнялась нулю. Эта величина получилась равной 8,1927 мин. за двое суток. Следовательно, за сутки происходит опережение хода значений курсов на 4 мин. и 5,78 с. Этот результат вполне сопоставим с разницей между продолжительностью средних солнечных суток и продолжительностью звёздных суток. Звёздные сутки короче на 3 мин. и 56,55 с. Отклонение на 9,23 с рассчитанного сдвига от разницы между солнечными и звёздными сутками можно объяснить несинхронностью моментов начала проведения наблюдений, а также влиянием нестабильности параметров

трансионосферного канала распространения сигналов спутников. Следовательно, обнаруженное регулярное опережение хода погрешностей курса JLR-10T от суток к суткам объясняется тем, что звёздные сутки короче средних солнечных суток.

Поскольку период обращения спутников СНС Навстар GPS равен половине звёздных суток, то вполне обоснованно можно утверждать, что для судна, идущего одним и тем же курсом или стоящим неподвижно, характер изменения погрешностей курса, определяемого JLR-10T, будет повторяться с периодом, равным продолжительности звёздных суток.

Как следует из проделанного анализа, погрешность определения курса компасом JLR-10T зависит от расположения спутников относительно измерительной базы. Тогда уместно предложить называть эту категорию погрешностей девиацией спутникового компаса по аналогии с магнитным компасом. Она в отличие от девиации магнитного компаса зависит не только от курса судна, но и от времени суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Перспективы создания спутникового компаса / Ю.А. Комаровский // Тр. регион. научн.-техн. конф. «Наука-морскому флоту на рубеже XXI века». 2-4 июня 1998 г. -Ч.2. -Владивосток: ДВГМА, 1998. -С. 6-11.

2 Комаровский, Ю.А. Формулирование требований ECDIS к спутниковому компасу / Ю.А. Комаровский // Материалы регион. научн.-практ. семинара «Методы и средства современной навигации». -Владивосток: ДВГМА, 1999. -С. 33-40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: система Навстар GPS, спутниковый компас, точность определения курса, суточный ход погрешностей, девиация спутникового компаса

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ДИСКРЕТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА В КАЧЕСТВЕ ДВИЖИТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ СУДОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.К. Арабьян, Д.А. Шестаков

EXPERIMENTAL EFFICIENCY EVALUATION OF INTERMITTENT-VARIABLE PITCH PROPELLER SCREW AS RIVER SHIP PROPULSION SYSTEM
Novosibirsk state academy of water transport
L.K. Arabyan, D.A. Shestakov

The article includes testing results of project 1741A ship with intermittent-variable pitch propeller screws (IVPPS). Also efficiency evaluation of IVPPS using is included in this article.

Рассмотрены результаты испытаний гребного винта дискретно-регулируемого шага (ГВДРШ), установленного на судне пр. 1741А, а также проводится оценка эффективности применения данных гребных винтов.

Сложившаяся в настоящее время экономическая ситуация в нашей стране вынуждает речные пароходства искать способы снижения эксплуатационных затрат на содержание флота. Один из способов добиться этого – повышение эффективности «работы» судов и, как следствие, снижение доли затрат на топливо относительно доходов пароходств.

В качестве одного из возможных средств повышения эффективности «работы» речных судов группой авторов предлагается применение гребных винтов дискретно-регулируемого шага (ГВДРШ) в качестве судовых движителей, эффективность применения которых можно увидеть на примере проведенных испытаний.

Первоначально была проведена серия испытаний толкаемого состава из буксира-толкача пр. 1741А и баржи пр. Р56. Данный состав используется для перевозки песка по маршруту Новосибирск-Ташара-Новосибирск.

Общая характеристика маршрута. Маршрут Новосибирск-Ташара (по течению), Ташара-Новосибирск (против течения); протяженность – 190 км; средняя глубина – 4 м; средняя скорость течения – 4,5 км/ч.

При этом эксплуатационные характеристики составов были следующие:

– Состав 1 (Новосибирск-Ташара; буксир-толкач пр. 1741А; длина 31 м; ширина 8 м; осадка – 1,35 м; движитель – гребной винт в направляющей поворотной насадке; диаметр винта 1,36 м, дисковое отношение 0,53, число лопастей – четыре, шаг 1,45 м; главный двигатель – 6NVD26А-3; номинальная мощность 272 кВт; номинальная частота вращения 950 мин⁻¹; передаточное отношение редукторной передачи 2,65; баржа пр. Р56, осадка 0,5 м);

– Состав 2 (Ташара-Новосибирск; буксир-толкач пр. 1741А; длина 31 м; ширина 8 м; осадка 1,35 м; движитель – гребной винт в направляющей поворотной насадке; диаметр винта 1,36 м; дисковое отношение 0,53, число лопастей – четыре; шаг 1,45 м; главный двигатель – 6NVD26А-3; номинальная мощность 272 кВт, номинальная частота вращения 950 мин⁻¹; передаточное отношение редукторной передачи 2,99; баржа пр. Р56; осадка 2,4 м).

Первоначальные испытания проводились с целью:

- получения параметров работы главных двигателей судна во время установившегося режима «работы» судна;
- проведения анализа режимов эксплуатации судна.

Для этого на вышеуказанном маршруте был выбран прямолинейный испытательный участок со следующими характеристиками: протяженность 3,5 км; глубина 4,5-5,5 м; средняя скорость течения 4,5 км/ч; с незначительным ветром и волнением.

По результатам первоначальных испытаний были получены следующие параметры работы главных двигателей судна (таблица 1):

На основании данных таблицы можно вычислить расход топлива на километр пути, который соответственно составил 4,31 кг/км для состава 1 и 12,57 кг/км для состава 2.

В результате анализа режимов эксплуатации судна были сделаны следующие выводы:

- главное требование, в настоящее время предъявляемое пароходствами к эксплуатации флота, макси-

мально возможная экономия топлива. В соответствии с данным требованием, капитаны судов организуют «работу» судов на экономичных режимах, при этом главные двигатели работают на долевых режимах («малый», «средний» ход);

– стандартные гребные винты фиксированного шага, которыми оснащено большинство судов речного флота, спроектированы из условия оптимальности только для номинальных параметров работы главных двигателей (номинальная мощность и частота вращения). Следовательно, на долевых режимах работы главных двигателей, гребные винты фиксированного шага оказываются не оптимальными. При применении ГВДРШ в качестве движителей судна появляется возможность коррекции шагового отношения в зависимости от ожидаемого режима «работы» судна, что позволяет оптимизировать совместную работу гребных винтов и двигателей судна и для выше описанной ситуации получить дополнительную экономию топлива.

Далее были проведены расчеты необходимых параметров ГВДРШ (для вычислений использовалась расчетная программа, рекомендованная кафедрой «Теории и устройства корабля» Новосибирской государственной академии водного транспорта для судов данного типа), при этом в качестве исходных данных для расчетов были использованы параметры «работы» судна на испытательном участке.

После установки экспериментальных ГВДРШ упрощенной конструкции на судно была проведена серия повторных испытаний. Повторные испытания проводились на том же испытательном участке в схожих с первоначальными испытаниями ветро-волновых условиях.

На основе повторных испытаний также были получены данные параметров работы

Таблица 1 – Параметры работы главных двигателей – стандартный гребной винт

Наименование показателя		Состав 1	Состав 2
Шаг гребного винта, м		1,45	1,45
Скорость движения состава, км/ч относительно	берега	16,0	7,0
	воды	11,5	11,5
Частота вращения коленчатого вала главного двигателя, мин ⁻¹	левый	700	840
	правый	700	840
Часовой расход топлива, кг/ч	левый	34	43
	правый	35	45
Мощность главного двигателя, кВт	левый	147	185
	правый	150	200
Температура выхлопных газов, °С	левый	350	360
	правый	360	390

главных двигателей (таблица 2).

Вычисленный расход топлива на километр пути составил 4,12 кг/км для состава 1 и 11,9 кг/км для состава 2.

В результате сравнения полученных данных испытаний судна можно прийти к следующим выводам:

1. Применение ГВДРШ позволяет даже в условиях «работы» судна в режиме строжайшей экономии топлива получить дополнительную экономию.

Для данного случая:

- при движении вниз по течению 19 кг на 100 км пути;
- при движении вверх по течению 63 кг на 100 км пути.

Для маршрутов значительной протяженности от 0,5 до 2% затраченного топлива.

2. Применение ГВДРШ позволяет повысить провозную способность судна (вследствие получения максимально возможной скорости при номинальных параметрах работы главных двигателей), при этом обеспечить оптимальные затраты топлива.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ГВДРШ, гребной винт, испытания, рабочие характеристики, оптимальный движитель, экономия топлива

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Арабьян Левон Каралетович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Шестаков Дмитрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Таблица 2 – Параметры работы главных двигателей – ГВДРШ

Наименование показателя		Состав 1	Состав 2
Шаг гребного винта, м		1,25	1,36
Скорость движения состава, км/ч относительно	берега	15,5	6,8
	воды	11,0	11,3
Частота вращения коленчатого вала главного двигателя, мин ⁻¹	левый	736	855
	правый	736	855
Часовой расход топлива, кг/ч	левый	31,5	40
	правый	32,5	41
Мощность главного двигателя, кВт	левый	124	177
	правый	135	180
Температура выхлопных газов, °С	левый	355	380
	правый	360	390

ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.К. Арабьян, И.П. Кутиков, Д.А. Шестаков

SUBSTANTIATION OF PROPELLER SCREW GEOMETRIC PARAMETRS MEASUREMENT METHODS

«Novosibirsk state academy of water transport»

L.K. Arabyan, I.P. Kutikov, D.A. Shestakov

The article includes information about geometric parametrs measurement means then using today. Also substantiation of more precision instruments using necessity is included in this article.

Рассмотрены применяемые в настоящее время способы и средства измерения геометрических параметров гребных винтов, и обосновывается необходимость применения в данной ситуации более точных средств измерения.

Гребные винты, вновь изготовленные или подвергшиеся ремонту, подлежат процедуре определения геометрических параметров.

Геометрические параметры и размеры гребных винтов согласно ГОСТ 8054-81 «Винты гребные металлические. Общие технические условия» [1] определяются путём измерения инструментом, погрешность которого не должна превышать половины предельного отклонения измеряемого параметра, установленного этим же стандартом.

Основным геометрическим параметром (рисунок), характеризующим работоспособность гребного винта, является местный шаг (шаг сечения), определяемый в соответствии с указанным ГОСТ 8054-81 по формуле

$$H_c = \frac{360}{\alpha^\circ} h, \quad (1)$$

где H_c – шаг сечения на радиусе R_i , мм;

R_i – радиус винта, для винтов обычного класса принимается не менее чем для четырех сечений равным 0,4; 0,6; 0,8 и 0,9 R или 0,5; 0,7; 0,9 и 0,95 R ;

h – разность высот между точками m и n ($h_m - h_n$), на нагнетательной поверхности лопасти, измеренная относительно плоскости перпендикулярной оси гребного винта, мм;

α° – угол между проекциями радиусов точек m и n , на плоскости перпендикулярной оси гребного винта, град.

Для гребных винтов обычного и среднего класса согласно ГОСТ 8054-81 допускается определять шаг сечения по формуле

$$H_c = \frac{2\pi R_i \cdot h}{\sqrt{l^2 - h^2}}, \quad (2)$$

где R_i – радиус сечения лопасти, мм;

l – расстояние между точками m и n , измеренное гибкой линейкой, мм.

При этом не требуется измерение угла между ординатами точек m и n (или проекциями их радиусов на плоскость перпендикулярную оси винта).

Согласно ГОСТ 8054-81 допускаемые предельные отклонения шагов сечений для винтов обычного класса приняты: абсолютные ± 25 мм; относительные $\pm 3,5\%$. Следовательно, погрешности измерения прибора (шагомера) не должны превышать половины указанных величин, то есть $\pm 12,5$ мм или $\pm 1,75\%$.

Так как шаг гребного винта определяется косвенным методом расчета по замеренным параметрам, входящим в формулу (1), для измерения этих параметров используется специальный прибор – координатный шагомер типа 1361-28-2.

Координатный шагомер (см. рисунок) состоит из основных элементов:

- 1 Вертикальная стойка шагомера, базирующаяся на посадочном конусе гребного винта;
- 2 Градуированный диск для измерения угла α между ординатами в точках m и n ;
- 3 Горизонтальная линейка шагомера;
- 4 Вертикальный измерительный щуп;
- 5 Лопасть гребного винта, подлежащая обмеру (не является частью шагомера).

Координатный шагомер является специальным измерительным комплексом и не подлежит государственной метрологической поверке. Достоверность полученных с его использованием измерений должны обеспечиваться поверкой шкал горизонтальной линейки и вертикального измерительного щупа с помощью поверенных линейных средств измерения (СИ), а градуированный диск с помощью поверенного угломера (например, модели 1005 завода «Калибр»). Результаты проверки оформляются соответствующими промежуточными актами.

При удовлетворительных результатах поверки элементов шагомера проводится комплексная проверка прибора путем трехкратного измерения «эталонного» гребного винта с трехкратным базированием шагомера на ступице гребного винта со стороны нагнетательной поверхности. Под «эталонным» гребным винтом понимается винт, изготовленный на предприятии, имеющем «Свидетельство о признании» РРР и освидетельствованный экспертом РРР с нанесением параметров на ступице.

Так как цена делений шкал горизонтальной линейки и вертикального измерительного щупа – 1 мм, а градуированного диска – 1 град., погрешности считывания размеров на шкалах следует считать равной цене делений шкал, то есть ± 1 мм и ± 1 град. соответственно.

Результирующую погрешность измерения шага шагомером при учете только погрешности измерений разности высот h и угла α определим конкретного номинального размера шага винта $H = 900$ мм. Для расчета погрешности примем $\alpha = 60^\circ$ тогда из формулы (1)

$$h = (900 \cdot 60) / 360 = 150 \text{ мм.}$$

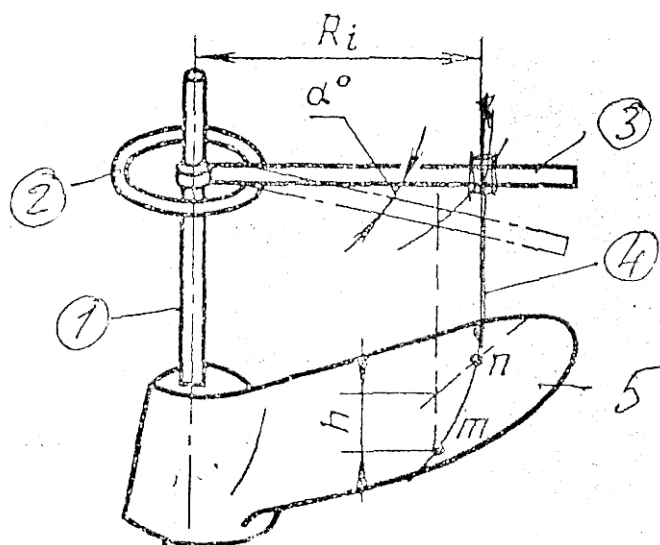


Рисунок 1 – Координатный шагомер

Наибольшая результирующая погрешность будет при $\alpha = (60 - 1)^\circ$ и $h = (150 + 1)$ мм, или $\alpha = (60 + 1)^\circ$ и $h = (150 - 1)$ мм, которая составит ± 21 мм или 2,3%. Эта величина укладывается в пределы допускаемых отклонений шага для гребных винтов обычного класса, но не соответствует требованиям в части погрешности средств измерения этого параметра. Кроме того, в данном примере не учтены другие факторы, влияющие на погрешность измерения.

Следовательно, применяемые шагомеры приведенной выше конструкции не удовлетворяют требованиям ГОСТ 8054-81 даже для винтов обычного класса. Тем более они не пригодны для измерения шага гребных винтов высшего и особого класса, для которых допустимые предельные отклонения шага установлены соответственно: абсолютные ± 10 мм и $\pm 7,5$ мм, относительные $\pm 1,5\%$ и $\pm 1,0\%$.

Для достижения требуемой точности по ГОСТ 8054-81 шагомер координатного типа должен обеспечивать точность считывания показаний по линейным шкалам не грубее $\pm 0,5$ мм, а по градуированному диску $\pm 0,50$; то есть прибор должен быть оснащен нониусными движками с ценой деления шкал 0,1 мм и 0,10.

Для гребных винтов высшего и особого классов, эксплуатирующихся на судах типа СПК, были разработаны и выпускались опытными партиями шагомеры типа СПК-2У и СПК-3 с самописцами, с помощью которых записываются на бумажном барабане винтовые линии сечений на пяти относительных радиусах 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8 и 0,9. Графическое изображение винтовых линий сравнивается с теоретическими линиями, изображенными на чертежах-шаблонах, что позволяет определить отклонения фактического местного шага сечения от теоретического. Наличие тросикового привода передачи от карандаша самописца до бумажного барабана приводит к значительным погрешностям. В настоящее время шагомеры этого типа на практике применения почти не находят. Гораздо эффективнее для этих целей применение комплекс-шаблонов. Для этого в резьбовое отверстие ступицы ввертывают специальное гнездо, в которое вставляют центрирующий палец комплекс-шаблона, после чего шаговые угольники накладывают на нагнетательную поверхность лопасти. О величине отклонений по шагу на различных сечениях судят по зазору между шаговыми угольниками и лопастью. Допускается контроль с помощью шаговых угольников не собранных в комплекс-шаблоны, в таком случае, шаговые угольники закрепляют в специальных стойках, добиваясь при этом строгой горизонтальности контрольной кромки шагового угольника [1, 2]. Погрешность в шаге сечения, а следовательно лопасти и в целом гребного винта определяется по величине зазора, измеренного набором щупов между шаговым угольником и лопастью.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 8054-81. Винты гребные металлические. Общие технические условия. -М.: Изд-во стандартов, 1981.

2 Кулик, Ю.Г. Техническое обслуживание и ремонт скоростных судов / Ю.Г. Кулик. -М.: Транспорт, 1978. -272 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *гребной винт, средства измерения, точность, координатный шагомер, погрешность, комплекс-шаблон, отклонения*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Арабьян Левон Каралетович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Кутиков Иван Петрович, начальник научно-исследовательского сектора ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Шестаков Дмитрий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ЗАДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.Ю. Лапай

ISSUES OF INFORMATION PROVISION SAFETY OF NAVIGATION
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.Yu. Lapay

The paper runs about problem of information provision safety of navigation on urbanized rivers. Theirs are subjected to significant deformations. There is need in method of complex estimate of permissible influence from all factors.

Рассмотрена задача информационного обеспечения безопасности судоходства на урбанизированных реках. Их русла подвергаются значительным деформациям, и существует необходимость в методе комплексной оценки допустимого воздействия всех факторов.

Оценку судоходных условий можно разделить на гидрометеорологическое обеспечение и поддержание водных путей в надлежащем состоянии. В настоящее время существует Автоматизированная информационная система «Река» (АИС «Река») [1], которая является довольно простой в использовании, не требует специальной подготовки пользователя и представляет полную оперативную гидрологическую и метеорологическую информацию в виде тематических карт, диаграмм, графиков, таблиц, текста. Метеорологические данные – сведения об осадках, температуре воздуха, скорости и направлении ветра и так далее, в настоящее время представлены в данной системе в полном объёме. Гидрометеорологические факторы тем и ли иным образом влияют на навигацию. Прогноз сроков вскрытия и замерзания рек позволяет уточнять сроки навигации и планировать грузоперевозки. Ухудшение видимости из-за тумана, снега, осадков увеличивает вероятность столкновения, ведёт к снижению скорости и, как следствие, перерасходу топлива. Сильный ветер и волнение так же приводят к перерасходу топлива, сносу судна, возможной потере управляемости и посадке на мель. Кроме того, ухудшение видимости и сильный ветер ограничивают погрузо-разгрузочные работы в порту (пыление навалочных грузов, опасность при работе грузовых кранов). Так же необходимы данные о влажности, так как она влияет на сохранность перевозимых грузов.

Сущность географических информационных систем состоит в том, что они позволяют так или иначе собирать данные, создавать базы данных, вводить их в компьютерные системы, хранить, обрабатывать и преобразовывать, а потом выдавать по запросу пользователям чаще всего в картографической форме, либо в виде таблиц, графиков, текстов. В АИС «Река» для каждого гидропоста приводится проектный уровень воды и срезка, при приближении к низким навигационным уровням система выдаёт текстовое предупреждение. Так же для каждого гидропоста можно визуальнo оценить график изменения уровня воды за 10 суток. В целях обеспечения высокого уровня управления безопасностью судоходства на внутренних водных путях возможно осуществить дальнейшее развитие и использование автоматизированной информационной системы и совершенствование её функциональной структуры на базе оперативных гидрометеорологических данных. Гидрологические данные могут включать в себя сведения о расходах воды, модуле стока, густоте речной сети, уклонах водной поверхности, мутности, водном режиме, термическом и ледовом режиме, гидрохимии и так далее. Большой интерес представляют габариты судового хода (особенно на затруднительных его участках) и габариты на подходах, рассчитанные по данным об уровнях воды на опорном гидрологическом посту.

Как известно, устойчивость русел судоходных рек Обского бассейна достаточно разнообразна, так как определяется различиями в гидрологическом режиме рек, геологическом строении долины и русла, в особенностях антропогенной нагрузки. Для её характеристики разработаны коэффициенты, такие как число Лохтина, коэффициент Великанова, Маккавеева, Карасёва. Учитывая, что степень устойчивости русла неодинакова и по длине реки, и даже по отдельным основным рукавам, изучение вопроса безопасности судоходства требует особой детальности при рассмотрении каждого судоходного участка реки. Обобщённую картину взаимодействия инженерных сооружений и русловых процессов на реке даёт «матрица конфликтных ситуаций» (таблица), возникающих при хозяйственной деятельности на урбанизированных участках реки. Степень взаимовлияния инженерных сооружений и мероприятий зависит от очередности выполнения тех или иных работ или введения в эксплуатацию сооружений на берегах и в русле рек [2].

Морфолого-морфометрическое влияние карьеров на речное русло выражается в изменении бытовой формы поперечного сечения русла, уничтожении руслового рельефа, видоизменении самого русла. В совокупности с создаваемым дефицитом руслообразующих наносов ниже участка добычи, всё это приводит к трансформациям русла, которые сказываются на гидравлических характеристиках потока и его транспортирующей способности, зачастую далеко вверх и вниз по течению от места разработки. Так же на состояние судовых ходов в пределах городов влияют выносы наносов из малых рек, вызывающие обмеление подходов к речным вокзалам и другим городским акваториям. Все эти существенные изменения в русловом режиме даже больших рек ведут к серьёзным осложнениям в эксплуата-

СУДОВОЖДЕНИЕ

ции многих инженерных сооружений, создают принципиально новые условия для проектирования трасс судовых ходов.

Таблица – Матрица конфликтных ситуаций, возникающих на р. Обь в районе г. Новосибирска (конфликты: Н-незначительные, У-умеренные)

Виды хозяйственной деятельности	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Путевые работы: дноуглубление, выправление, внутранзитное землечерпание	1	У	Н	–	–	У	Н	Н	Н	–	–	У
Русловые карьеры ПГМ	2	У	У	У	Н	У	У	У	–	–	–	Н
Мостовые переходы	3	Н	У	Н	–	–	Н	Н	–	–	–	У
Берегоукрепление	4	Н	У	У	Н	Н	Н	Н	–	–	–	Н
Набережные	5	Н	У	–	–	–	–	–	–	–	–	У
Подводные переходы	6	У	У	Н	У	–	Н	Н	–	–	–	У
Водозаборы	7	У	У	Н	У	–	Н	–	Н	–	–	У
Водовыпуски	8	У	У	Н	У	–	Н	Н	Н	–	Н	У
Акватории портов и затоны	9	Н	Н	–	Н	–	–	Н	Н	Н	Н	У
Сельскохозяйственное и садово-огородное использование поймы	10	–	–	–	–	–	–	Н	Н	–	Н	Н
Рекреационное освоение поймы	11	–	Н	–	–	Н	–	Н	Н	Н	–	У
Гидроузлы: нижний бьеф, верхний бьеф	12	У	Н	Н	Н	Н	Н	–	–	–	–	–

Дифференцированная глубина судового хода, значение которой дается в зависимости от высоты уровня воды, увеличивается или уменьшается не прямо пропорционально изменению уровня воды, а в определенной зависимости, устанавливаемой путем расчета. В настоящее время существует потребность в методе комплексной оценки судоходной обстановки с учётом влияния разнообразных и одновременных форм антропогенной нагрузки на реку, в том числе и русловых карьеров. При расчёте предполагаемой посадки уровней и деформаций русла учитывается точечное влияние каждого карьера. Целесообразно рассматривать эти процессы как последствие суммарного воздействия всех карьеров на судоходном участке реки, так как происходит многократное изменение природного руслового режима.

Это необходимо для поддержания устойчивости русла, более точного прогнозирования его деформаций и посадки уровней воды, выбора метода регулирования русла. А также для оценки допустимого воздействия карьеров по добыче песчано-гравийной смеси на судоходную пригодность определённых участков реки. Так же следует изучить изменение состава руслообразующих наносов, современную посадку уровней воды, русловые процессы и их развитие, как ответную реакцию на антропогенную нагрузку. Прогноз переформирования русла включает в себя определение направленности, темпов и стадии развития формы русла, оценку роли различных факторов, приводящих к изменениям длительности циклов и характера местных деформаций; выявление связи русловых деформаций и форм русла с основными определяющими факторами; выявление многолетних, годовых и сезонных деформаций. На этой базе возможны экстраполяции корреляционных связей темпов деформаций с определяющими их факторами и разработка гидроморфологических зависимостей; создание карт оценки воздействия русловых деформаций на состояние судового хода и гидротехнические сооружения, и использование их при проектировании путевых работ и разнообразных строительных работ на водных путях, а так же при организации эксплуатационной работы транспортного флота. Существует потребность в методе расчёта коэффициента урбанизации реки для комплексной оценки допустимого воздействия на неё всех факторов.

Ежегодная регистрация транспортных происшествий на судоходных реках лишний раз подчёркивает необходимость метеорологической, гидрологической и путевой информации в судоходстве, развития систем оперативного и удобного доведения сведений о состоянии и безопасности внутренних водных путей в рамках специализированных геоинформационных систем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ИУС. Погода, гидрология в реальном времени для периодов ЧС природного характера: технология эффективного обеспечения гидрометбезопасности территорий / А.Б. Колкер, Д.Э. Сафиуллин, В.И. Терешков, Л.С. Хайбуллина. -2008. -92 с.
- 2 Чалов, Р.С. Русловые процессы и водные пути на реках Обского бассейна /

Р.С. Чалов, Е.М. Плескевич, В.А. Баула. -Новосибирск: РИПЭЛ плюс, 2001. -330 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидрометеорологические данные, деформации русла, безопасность судоходства

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Лапай Анна Юрьевна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ПРОЧНОСТИ СУДОВ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимбереков

SAME ASPECTS OF MONITORING OF SHIP HULL STRENGTH DURING ITS EXPLOITATION

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Bimberekov

The variants of the loss of safe life of vessels due to lack of monitoring of common and local strength are considered, particularly, the evaluations of the effect of having common longitudinal residual deformations onto decreasing of the level of bending moment of ship hull are obtained.

Рассматриваются варианты потери эксплуатационного ресурса судов вследствие отсутствия мониторинга общей и местной прочности, в частности, получаются оценки влияния общих продольных остаточных деформаций на снижение уровня допускаемого изгибающего момента корпуса судна.

Практика эксплуатации судов показывает, что максимальные общие изгибающие моменты, вызвавшие перелом корпуса, возникают по следующему ряду причин, расставленных далее по убыванию числа случаев: погрузочно-разгрузочные работы, посадка на мель, получение пробоин, неравномерное распределение грузов, плавание в штормовых условиях. В таблице 1 представлены данные по поломкам судов, поднадзорных Речному Регистру РСФСР, обобщенные в работе [1]. Данные по переломам судов, поднадзорных Российскому Речному Регистру (РРР) [2] за пять лет с 2002 по 2006 г., также приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация переломов корпусов поднадзорных РРР

Обстоятельства, при которых произошли переломы	Число переломов по данным [1]	Число переломов по данным [2]
При грузовых операциях	95	14
При посадке на мель	40	-
При затоплении трюмов через пробоины	14	-
При плавании на водохранилищах в штормовых условиях	7	2
При эксплуатации с неравномерным распределением грузов	9	-
Нарушение условий отстоя	-	8
Прочие случаи	15	-

По удельному количеству переломов [1] (общее число анализируемых случаев – 180) лидируют баржи-площадки (35% всех случаев), далее идут сухогрузные трюмные баржи и наливные баржи (соответственно 27% и 23% всех случаев), переломы грузовых теплоходов составили 9% всех случаев. Подавляющий процент переломившихся судов - около 80% всех контрольных случаев - приходится на период эксплуатации судов до 15 лет, то есть на еще достаточно новые суда, износ связей которых в силу малой агрессивности вод внутренних водоемов незначителен.

В работе [3] представлено соотношение внешних нагрузок, вызвавших переломы корпуса судна по трем укрупненным группам судов, которые приведем в таблице 2.

В учебнике [4] даются приближенно схожие данные по переломам речных судов в долях от всех аварий: 35% – при погрузке; около 20% – при выгрузке; 20% – при посадке на мель.

У судов мирового морского флота [5] (данные повреждений у 5341 судна из 24702 обследованных) наибольшая повреждаемость конструкций приходится на первые 18 лет эксплуатации (пик на 13 лет эксплуатации). Она преимущественно связана с потерей площади поясков эквивалентного бруса корпуса судна вследствие износа связей и неучетом изменившегося технического состояния корпуса (параметров прочности) в ходе эксплуатации.

Из анализа приведенных данных видно, что нарушение технологии погрузочно-разгрузочных работ - достаточно частое явление. Очевидно, что такое нарушение преиму-

щественно вызвано желанием ускорения процесса. Массовое отклонение от плановой технологии может быть таковым только в том случае, если практика показывает на возможность такого вида нарушений для большинства судов. Из массовости повреждений судов в процессе погрузочно-разгрузочных работ следует также допустить и рассмотреть возможность повреждения судна и без нарушения технологии работ.

Таблица 2 – Классификация причин переломов корпусов судов, поднадзорных Речному Регистру РФСР

Обстоятельства, при которых произошли переломы	Количество переломов судов, %		
	Сухогрузных несамоходных	Наливных несамоходных	Самоходных
В процессе погрузки-выгрузки	62,1	59	18
При посадке на мель и обсыхании на грунте	17,4	27	45
При затоплении отсеков через пробоины	9,1	7	-
При плавании на водохранилищах в штормовых условиях	1,6	-	23
При эксплуатации с неравномерным распределением грузов	3,2	-	-
Прочие случаи	6,6	7	14
Всего	100	100	100

Посадка на мель и получение пробоин, хотя и допускается в процессе проектирования, однако все варианты таких нагрузок учесть невозможно, и в данной статье им далее уделяться внимание не будет.

Имеют место нарушения в виде ведения отдельных перевозок с не проверенной на допустимость нестандартной загрузкой (с неравномерным распределением грузов), вызванной, например, транспортировкой не предусмотренных проектной документацией грузов. Такие перевозки, так или иначе, приходится вести судоходным компаниям, а произвести расчеты и согласовать документацию на все виды возможных перевозок, да еще оперативно, не представляется возможным. В то же время наличие грамотных и опытных специалистов при традиционном рассмотрении вопроса, как правило, позволяет оценить допустимость неравномерности загрузки для судна. Потому отдельно данный вид нагрузок, по нашему мнению, не требует специального рассмотрения.

Перевозки на волнении опасны при недостаточном запасе прочностных параметров для данного конкретного судна, которое может быть вызвано, например, неправильной загрузкой, неверным решением судоводителя о скорости и направлении движения к фронту волны, в частности, и вообще о выходе в рейс при данном уровне волнения. Данный комплексный вопрос определения допустимости нагрузок для конкретного судна не столь очевиден и требует специального рассмотрения.

Очевидно, что при знании лицами, производящими погрузочно-разгрузочные работы, высокой вероятности перелома корпуса судна при нарушении технологии, таковое вряд ли имело бы место.

Чем же могут быть вызваны переломы части судов, в то время как другие выдерживают повышенные нагрузки? По-видимому, такие переломы происходят в связи с накоплением судовыми корпусами как местных, так и общих остаточных деформаций и существенным снижением уровня параметров прочности у отдельных судов. Отметим, что при снижении прочностных параметров корпуса ниже определенного уровня, даже при соблюдении установленной технологии эксплуатации для судов данного проекта, можно получить недопустимые деформации и перелом корпуса судна в стандартных условиях.

Из вышесказанного вытекает закономерный вывод о желательности мониторинга текущего состояния корпусов судов, а также его соотнесения с загрузкой, ожидаемыми гидрометеорологическими условиями, условиями погрузки-разгрузки, плавания и отстоя [6].

Рассмотрим далее более внимательно влияние общих остаточных продольных деформаций корпусов судов. Наличие таких деформаций приводит к увеличению изгибающего момента на величину [7, 8] волнового изгибающего момента при постановке судна на волну с длиной, равной длине судна, и высотой, равной величине стрелки общей остаточной продольной деформации корпуса, f_{max} . Относительное значение дополнительного изгибающего момента к величине волнового изгибающего момента соответствующего разряда плавания,

очевидно, будет иметь значение f_{max}/h (где h - нормативная высота волны). Для оценки удельного прироста изгибающего момента вследствие наличия общей остаточной продольной стрелки прогиба у морских судов на тихой воде справедливо отношение f_{max}/T (T - осадка судна).

Суда, поднадзорные Российскому Речному Регистру (РРР), включают два класса («Л» и «Р»), где общие волновые изгибающие моменты незначительны по сравнению с общими изгибающими моментами на тихой воде. Остальные классы судов, поднадзорные РРР, начиная с «О» (значение нормативной высоты волны 2,0 м) и заканчивая судами смешанного река-море плавания (класс «М-СП», нормативная высота волны 3,5 м), подвергаются значительным по своей доле в общем изгибающем моменте волновым составляющим. Например, для баржи-площадки проекта №Р-56, имеющей повышенный класс РРР «М3,0», значение изгибающего момента на тихой воде составляет около $M_{Т.В} = 9000$ кН·м, а волновой изгибающий момент около $M_B = 45000$ кН·м, то есть значение волнового изгибающего момента примерно в пять раз больше, чем значение изгибающего момента на тихой воде. Такое значительное влияние волновой составляющей в общем изгибающем моменте обусловлено тем, что в силу ограниченности глубины фарватера у судов, поднадзорных РРР, как правило, имеет место малое значение соотношения высоты борта к ширине судов (обычно, менее 0,25). То есть эквивалентный брус корпуса судна незначительно развит по высоте, что ведет к повышенным сложностям по обеспечению общей продольной прочности, особенно при снижении редуционных коэффициентов пластин крайних поясков эквивалентного бруса вследствие износов и остаточных деформаций.

Суда, поднадзорные Российскому Морскому Регистру Судостроения (РМРС), уже в самом ограниченном по высоте волны классе имеют ее нормативное значение 5,0 м. Эквивалентный брус у судов, поднадзорных РМРС, существенно более развит по высоте по сравнению с судами РРР (имеет заметно большее относительное значение отношения высоты борта к ширине судна, в частности, у судов смешанного река-море плавания проекта №781 это соотношение 0,423). Можно говорить на основе практики построения графиков прочности морских судов, что расчетное значение волнового изгибающего момента составляет до 50% от соответствующего значения общих изгибающих моментов на тихой воде.

Произведем оценку влияния наличия у судов общих остаточных деформаций, в частности, оценим ожидаемое сокращение срока эксплуатации судов для двух указанных проектов. Информации об общих продольных остаточных стрелках изгиба судовых корпусов накоплено мало. Данные по танкерам «Волгонепфть» приведены в [7], остаточные стрелки перегиба которых достигают 300...500 мм. По полученным данным в Подтесовской РЭБ флота ОАО «Енисейского речного пароходства» остаточные стрелки изгиба судов составляют 200...250 мм на длине 80 м.

Возьмем в расчет суда упомянутых выше проектов: Р-56 «М3,0» - поднадзорного РРР и №781 - поднадзорного РМРС. Примем, что корпуса данных судов в настоящее время удовлетворяют на пределе нормам общей прочности для своего класса при существующей системе оценки, а плановый срок эксплуатации будет достигнут через 15 лет. Примем, что баржа-площадка проекта Р-56 эксплуатируется в своем классе 6 месяцев в год, а сухогрузное судно проекта №781 – 11 месяцев в год. Положим наличие у корпусов судов остаточной продольной стрелки изгиба $f_{осм} = 250$ мм, которая изначально не учитывается.

Для Р-56. Относительный прирост дополнительного изгибающего момента относительно волнового изгибающего момента, составит

$$\Delta M_B / M_B \approx f_{осм} / h = 0,25 / 3,0 = 0,0833 .$$

Получим численное значение величины дополнительного изгибающего момента и относительный прирост изгибающего момента на тихой воде вследствие наличия общей продольной остаточной деформации корпуса судна. Получим:

$$\Delta M_B = 0,0833 \cdot 4500 \approx 3750 \text{ кН·м}, \quad \Delta M_B / M_{Т.В} = 3750 / 9000 \approx 0,417 .$$

Дополнительный прирост изгибающего момента на тихой воде составит около 41,7%, что, вполне очевидно, может вызвать недопустимые значения изгибающего момента при производстве погрузочно-разгрузочных работ, так как технология этих работ не учитывает понижение допустимой нагрузки. А, следовательно, при принятом изначально предельно допустимом в обычных условиях уровне прочности возможно увеличение значения общих продольных остаточных деформаций и/или перелом судна.

Поскольку потеря допустимого волнового момента составит 8,3%, то на столько же (вследствие прямой зависимости) должна уменьшиться допускаемая высота волны. То есть, имеем в этом случае допускаемую высоту волны 3%-ой обеспеченности не 3,0 м, а 2,75 м. Известно, что распределение длин волн описывается распределением Вейбулла. Согласно этому распределению, если у него высота волны в 3,0 м имеет обеспеченность 3%, то высота волны 2,75 м будет иметь обеспеченность 5,6%. При сохранении вариантов загрузки без учета остаточного изгиба, разница обеспеченностей проектной допустимой высоты волны и рассчитанной с учетом остаточного изгиба составит 2,6%. Полученное значение обеспеченности предельной волны почти в два раза перекрывает нормативное значение, что повышает возможность перелома судна, хотя возможное сокращение срока эксплуатации при принятых условиях не велико. Его можно оценить следующим образом.

Поскольку действия судоводителя при неучете наличия общего остаточного изгиба корпуса судна будут ориентированы на допустимую волну в 3,0 м, то получение судном изгибов свыше допускаемого значения, определяемого уже значением 2,75 м будут на 2,6% превышать проектное значение в 3%. То есть в случае отсутствия учета остаточного изгиба корпуса при формировании грузового плана судна имеет место возможность накопления предельно допускаемого уровня повреждений (напряжений) корпусом судна раньше окончания планового срока службы на 2,6%. При этом ожидаемое сокращение срока эксплуатации составит $0,026 \times 15 = 0,39$ навигации $\approx 2,34$ мес.

Для судна пр. №781 (осадка $T = 4,0$ м). Согласно оценкам [7,8], остаточный изгиб корпуса судна дает прирост изгибающего момента на тихой воде, $\Delta M_{Т.В}$, пропорционально отношению стрелки изгиба к осадке, то есть

$$\Delta M_{Т.В} \approx M_{Т.В} f_{осм} / T = M_{Т.В} (0,25/4) = 0,0625 M_{Т.В}.$$

Так как прирост изгибающего момента на тихой воде вследствие наличия остаточного изгиба составляет 6,25%, то допустимое значение волнового изгибающего момента M_B должно быть уменьшено на эту же величину. Поскольку методика определения допускаемого значения изгибающего момента на волнении (в море) для морских судов предусматривает полуторное уменьшение допускаемого изгибающего момента по сравнению с изгибающим моментом на тихой воде (в порту), то определим из этого положения отношение

$$M_B / M_{Т.В} = (1,5 - 1) / 1,5 = 0,333.$$

Потеря значения допустимого волнового момента вследствие наличия неучитываемого при погрузке остаточного изгиба составит величину

$$0,0625 M_{Т.В} / M_B = 0,0625 M_{Т.В} / (0,333 M_{Т.В}) = 0,188.$$

Поскольку потеря допустимого волнового момента составит 18,8%, то на столько же (вследствие прямой зависимости) уменьшится допускаемая высота волны. То есть имеем в этом случае допускаемую высоту волны 3%-ой обеспеченности не 5,0 м, а 4,06 м. Согласно распределению Вейбулла, если у него высота волны в 5,0 м имеет обеспеченность 3%, то высота волны 4,06 м будет иметь обеспеченность 11,3%. При сохранении вариантов загрузки без учета остаточного изгиба разница обеспеченностей проектной допустимой высоты волны и рассчитанной с учетом остаточного изгиба составит 8,3%.

Поскольку действия судоводителя при неучете остаточного изгиба корпуса судна будут ориентированы на допустимую волну в 5,0 м, то получение судном изгибов свыше допускаемого значения, определяемого уже значением 4,06 м, будут на 8,3% превышать проектное значение в 3%. То есть имеем, в случае отсутствия учета остаточного изгиба корпуса, при формировании грузового плана судна возможность накопления допускаемого уровня повреждений (напряжений) корпусом судна раньше окончания планового срока службы на 8,3%. При этом ожидаемое сокращение срока эксплуатации составит $0,083 \cdot 15 = 1,245$ навигации $\approx 13,7$ мес.

Полученные оценки говорят, что для судов внутреннего плавания (случай баржи проекта №Р-56) большей опасностью является вредное влияние общего продольного остаточного прогиба на тихой воде. Это, по-видимому, и является одним из факторов, обуславливающим превалирование переломов судов речного флота при погрузочно-разгрузочных операциях, памятуя о том, что именно при них достигаются наибольшие общие изгибающие моменты, действующие на суда [4]. При этом следует отметить, что значение добавки в абсолютном выражении изгибающего моментов на волнении составляет 8,3%, в связи с чем контроль технического состояния при ходе на волнении у судов речного флота можно считать вполне оправданным.

У судов морского флота (случай судна проекта №781) вредное влияние наличия общей остаточной стрелки изгиба на тихой воде существенно (более 5%), а при ходе на волнении весьма существенно (около 20% от волновой составляющей общего изгибающего момента), удельно значительно большее, чем у речных судов. В связи с чем, мониторинг морских судов, судов смешанного река-море плавания еще более необходим. В частности, мониторинг технического состояния корпуса судна проекта №781 в принятых условиях, учет при составлении и уточнении грузового плана наличия остаточного изгиба корпуса судна, по сравнению с вариантом, игнорирующим его наличие, предположительно позволит продлить срок эксплуатации судна на 1,25 навигаций до планового срока 15 лет.

Организация мониторинга прочностного состояния корпуса. Известна методика экспериментальной оценки прочности судов на плаву [10] по замерам гибкой линии корпуса при известной его загрузке (знании действующих в момент контроля изгибающих моментов), позволяющая достаточно точно с практической точки зрения определить параметры прочности судового корпуса – моменты инерции и сопротивления его сечения. Используется в исследовательской [3] и эксплуатационной практике на современных морских судах и постоянный контроль напряженного состояния корпусных конструкций посредством системы датчиков [11].

Из анализа повреждаемости судовых корпусов речного флота можно заключить, что мониторинг их технического состояния насущный вопрос эксплуатационной практики. Поскольку оснащение судов речного флота системами постоянного контроля состояния вряд ли выполнимая в ближайшей перспективе задача, то возможен вариант кратковременного контроля через определенные промежутки эксплуатации с анализом возможного накопления усталостных напряжений [12]. Контроль же текущих прочностных параметров – моментов инерции и сопротивления поперечного сечения корпуса судна, учет его общих продольных остаточных деформаций, использующий анализ гибкой линии корпуса при разных нагрузках судна – посильная задача для экипажей судов речного флота. Подходы к определению остаточных общих продольных деформаций корпусов судов предложены автором в [13, 14]. Наиболее значимым при таком контроле является точность определения параметров гибкой линии корпуса, хотя при наличии нивелира она вполне разрешается с достаточной с точки зрения практики точностью. Повышение точности наиболее доступного на практике способа получения параметров гибкой линии корпуса – посредством контроля осадок по грузовым шкалам и/или надводного борта, должно стать предметом специального рассмотрения в дальнейшем.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ершов, Н.Ф. Предельное состояние и надежность конструкций речных судов / Н.Ф. Ершов, О.И. Свечников. -Л.: Судостроение, 1969. -152 с.
- 2 Российский Речной Регистр. Обзор повреждений судов и их элементов за 2002-2006 гг. /Отв. за вып. Б.Н. Папилов. -М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2008. -69 с.
- 3 Ершов, Н.Ф. Повреждения и эксплуатационная прочность конструкций судов внутреннего плавания / Н.Ф. Ершов, О.И. Свечников. -Л.: Судостроение, 1977. -312 с.
- 4 Лесюков, В.А. Теория и устройство судов внутреннего плавания. Учебник для институтов водного транспорта / В.А. Лесюков. -Л.: Транспорт, 1974. -320 с.
- 5 Барабанов, Н.В. Повреждения и пути совершенствования судовых конструкций / Н.В. Барабанов, Н.А. Иванов, В.В. Новиков, Г.П. Шмендюк. -Л.: Судостроение, 1989. -256 с.
- 6 Бимбереков, П.А. Задача об оптимизации грузового плана с учетом остаточной общей продольной деформации корпуса и ожидаемых гидрометеорологических условий / П.А. Бимбереков // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока: Научный журнал, №1, 2006. -С. 139-148.
- 7 Отчетный материал по этапу 1 темы №ЦРП-05-31-07. Обзор имеющихся материалов по остаточным прогибам/перегибам корпусов судов смешанного плавания. Анализ возможных причин появления общих остаточных деформаций корпуса при различных условиях перегрузок и ремонтах, а также оценка уровней возникающих при этом остаточных напряжений в продольных связях корпуса. -СПб., 2005. -48 с.
- 8 Чистов, В.Б. Научные основы технологии ремонта корпусов судов речного флота / В.Б. Чистов. Автореферат дисс. д.т.н. -СПб: СПбГУВК, 1994. -40 с.
- 9 Кулик, Ю.Г. Технология судостроения и судоремонта. Учебник для институтов водного

- транспорта / Ю.Г. Кулик, Ю.В. Сумеркин. -М.: Транспорт, 1988. -352 с.
- 10 Беляк, Ю.Л. Экспериментальное исследование прочности корпусов судов / Ю.Л. Беляк. -Л.: Судостроение, 1964. -230 с.
- 11 Максимаджи, А.И. Капитану о прочности корпуса судна / А.И. Максимаджи: Справочник. -Л.: Судостроение, 1988. -224 с.
- 12 Бимбереков, П.А. Заявка на патент на изобретение РФ №2007105326. Бюл. изобретений №23, 2008.
- 13 Бимбереков, П.А. Способ контроля общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или стояночных средств / П.А. Бимбереков. Патент на изобретение РФ №2293957, 2007.
- 14 Бимбереков, П.А. Способ определения общих остаточных деформаций корпусов транспортных и/или стояночных средств / П.А. Бимбереков. Патент РФ на изобретение №2298162, 2007.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прочность, мониторинг, гибкая линия корпуса
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

МОДЕЛЬ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА

ГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Д.М. Фургаса, М.А. Пасечников, В.И. Меньшиков

MULTIPARAMETRICAL MODEL OF INTERVAL CONTROL OF VESSEL OPERATION

«Murmansk state technical university»

D.M. Furgasa, M.A. Pasechnikov, V.I. Menshikov

The multiparametrical model of interval control of seaworthiness for safe operation of the ship has been offered.

Составлена модель многопараметрического интервального контроля мореходных качеств, обеспечивающих безопасную эксплуатацию судна.

Для решения как общих, так и частных задач по вероятностной оценке нахождения состояния эксплуатации судна в заданных пределах вполне допустимо использовать обширный математический аппарат, разработанный и эффективно применяемый в теории надежности. Успешное использование математического аппарата теории надежности в области управления безопасной эксплуатацией обусловлено несколькими обстоятельствами. Прежде всего, идентичностью целей, поскольку в обоих случаях речь идет об обеспечении и поддержании ожидаемых функций, представленных в виде набора конкретных показателей. Поэтому анализ, контроль и подтверждение показателей безопасной эксплуатацией и надежности сложных технических систем могут базироваться на одних и тех же математических моделях.

Безопасная эксплуатация судна и надежность некой технической системы, как состояния, закладываются и обеспечиваются на этапах проектирования и постройки, а проявляются и реализуются в процессе практического использования. Поэтому как не может быть состояния безопасной эксплуатации без надежности технических средств, так и надежность технических средств напрямую зависит от состояния безопасной эксплуатации, например, предусмотренной текстами применимых Международных морских Конвенций. Таким образом, можно считать, что состояние безопасной эксплуатации и состояние надежности взаимно обуславливают друг друга. Такая обусловленность вполне естественна потому, что в основе математического аппарата анализа и контроля в обоих случаях могут лежать одни и те же разделы теории вероятностей, математической статистики и общей теории принятия решений в условиях неопределенности.

Однако при всей тесноте связей между состоянием надежности и состоянием безопасной эксплуатации существуют и различия. Эти различия определяются тем, что критериальные параметры состояния надежности выражаются в виде функциональных зависимостей от времени. При анализе состояния безопасной эксплуатации время должно рассматриваться как важнейший и влияющий на это состояние фактор, в принципе, аналогичный другим существенным внешним факторам.

Для того, чтобы выделить структурные особенности модели многопараметрического

контроля состояния безопасной эксплуатации, используем структуру η , адекватную физическому объекту (судну), записанную так

$$\eta = (Y, J, X), \quad (1)$$

где Y – множество технических средств и связей между ними, которые при объединении образуют сложное сооружение – судно;

J – система действий и отношений, реализуемая на связях множества Y и обеспечивающая поддержание некоторого внутреннего состояния судна, характеризуемого множеством процессов с выходными параметрами из множества X .

В рамках введенной модели (1) наиболее общее описание внутренних процессов (судовых ключевых операций с параметрами $x \in X$), идущих на судне, без учета дополнительных внешних воздействий можно определить как изменение вида

$$\begin{aligned} & J; \\ & Y \rightarrow X. \end{aligned} \quad (2)$$

Для практической реализации многопараметрического контроля состояния безопасной эксплуатации судна целесообразна классификация параметров движения (2) по заданным классам, определенным так:

– класс параметров «целостности», которые характеризуют способность отдельных технических средств из состава сложного технического сооружения (судна) и представителей судового экипажа, эксплуатирующих эти средства, «находиться в нужное время в нужном месте» при выполнении судовых ключевых операций;

– класс «определяющих» параметров, характеризующихся через сохранность мореходных качеств судна и его состояния безопасной эксплуатации при выполнении ключевых операций;

– класс параметров «критичности», соответствующих появлению в состоянии судна дополнительных и неожиданных свойств, которые способны лишить это судно естественного соответствия требованиям безопасной эксплуатации, например, лишив его одного из мореходных качеств.

На базе выделенных параметров движения (2) можно составить модель вероятностной оценки состояния эксплуатации судна при выполнении на нем ключевых операций в заданных пределах. Модель контроля состояния безопасной эксплуатации судна использует хорошо известную теорему о нижней доверительной границе вероятности безотказной работы событийной системы, состоящей из последовательности взаимодействующих между собой элементов. Теорема о нижней доверительной границе, доказанная еще в середине прошлого века, неоднократно обобщалась и уточнялась, в том числе и для условий контроля статистических показателей работоспособности сложных технических систем.

Для условий многопараметрического контроля состояния безопасности при реализации судовой ключевой операции эту теорему целесообразно представить в следующей формулировке: «нижняя доверительная граница вероятности целостности некой последовательности, состоящей из любого числа событий любой сложности, с коэффициентом доверия γ , не может быть меньше значения, рассчитанного по формуле

$$P_H = \min(P_{Hi}), \quad (3)$$

где P_{Hi} – нижняя γ -доверительная граница сохранности мореходных качеств отдельно взятого i -го технического средства, задействованного в этой операции, причем минимум берется по всем n последовательно соединенным событиям».

Пусть при использовании модели в многопараметрическом контроле в плановой последовательности событий, определяющей судовую ключевую операцию, по априорной и текущей информации исключены все возможные риски. Тогда по всем $m(n)$ определяющим параметрам минимальное значение нижней γ -доверительной границы P_{Hi} для любого события из этой последовательности, в соответствии с формулой Клоппера-Пирсона можно найти так

$$P_{Hi} = (1 - \gamma)^{1/l(\min)}, \quad (4)$$

где $l(\min)$ – минимальный объем экспериментальной информации при контроле сохранности мореходных качеств судна.

Следовательно, для планов реализации судовой ключевой операции с минимизацией

рисков и при минимуме экспериментальной информации нижняя γ -доверительная граница вероятности сохранности всем судном мореходных качеств, которые и должны обеспечивать безопасную эксплуатацию этого судна, равна

$$P_H = (1 - \gamma)^{1/l(\min)}. \quad (5)$$

При этом верхняя граница вероятности сохранности мореходных качеств судна будет равна единице, а точечные оценки величин будут удовлетворять соотношению

$$P_H \leq P \leq 1.$$

Практический смысл последнего выражения заключается в том, что все технические средства судна и члены его экипажа, участвующие в проведении судовой ключевой операции, должны быть проверены и проинструктированы. Проверка технических средств и инструктирование членов экипажа должны проводиться с обязательным акцентом на возможные риски и в информационном объеме не менее $l(\min)$. Если статистическая корректность выражения соблюдена, то верхняя граница уровня несоответствия мореходных качеств судна условию его безопасной эксплуатации с коэффициентом доверия γ не превысит значения

$$Q \leq 1 - P_H = 1 - (1 - \gamma)^{1/l(\min)}. \quad (6)$$

Общие модельные представления, лежащие в основе формул для контроля состояния эксплуатации, базируются на операции классификации мореходных качеств судна в рамках двух альтернатив, «обеспечивающих безопасную эксплуатацию или не обеспечивающих безопасную эксплуатацию». При такой классификации, естественно, теряется некоторая часть информации о тех параметрах, которые являются измеримыми. Однако такие информационные потери, как правило, компенсируются.

Таким образом, составленная модель многопараметрического контроля состояния эксплуатации судна позволяет определить тот минимальный объем информации $l(\min)$, который необходим для проверки технических средств и инструктирования членов экипажа, задействованных в судовой ключевой операции.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эксплуатация, судно, мореходные качества, многопараметрический контроль, минимальная информация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фургаса Дюсалень Мердаса, аспирант ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»
Пасечников Михаил Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»
Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»

КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК В ИНТЕРФЕЙСЕ «ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО-ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ»

ГОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

М.М. Еремин, И.В. Макеев, В.И. Меньшиков

CLASSIFICATION OF ERRORS IN THE INTERFACE TECHNICAL MEANS-THE HUMAN ELEMENT

«Murmansk state technical university»

M.M. Eremin, I.V. Makeev, V.I. Menshikov

The model of classification of errors in the interface «technical means-the human element» with the guarantee of such classification has been given.

Составлена модель классификации ошибок в интерфейсе «техническое средство-человеческий элемент» с гарантией такой классификации.

Для расследования роли «человеческого элемента» в аварийных случаях Резолюция ИМО А.884 (21) предлагала использовать некоторые базовые модели такого расследования. Поэтому, далее будем ориентироваться на рекомендации Резолюции ИМО А.884 (21), и оценим возможность классификации ошибок, которые могут возникать в интерфейсе «техническое средство судовождения – человеческий элемент». С формальной точки зрения основной модели классификации ошибок в интерфейсе может быть допущение о том, что все ошибки локализованы в некотором замкнутом множестве X . Кроме того, на этом множестве определено разбиение вида

$$Z = \{Z_1, Z_2, \dots, Z_n, Z_{n+1}\},$$

причем такое, что любая техническая или личностная ошибка находится лишь в одном из

классов W_n , образованных разбиением. Тогда математическую основу модели классификации ошибок в интерфейсе «техническое средство судовождения-человеческий элемент» можно записать так:

- W_1 содержит такие X , что $X \cap Z_1 \neq \emptyset$;
- W_2 содержит такие X , что $X \cap Z_1 \neq \emptyset$, $X \cap Z_2 \neq \emptyset$;
- ...;
- W_n содержит такие X , что $X \cap (\bigcup_{h=1}^{n-1} Z_h) \neq \emptyset$, $X \cap (Z_n) \neq \emptyset$;
- W_{n+1} содержит такие X , что $X \cap (\bigcup_{h=1}^n Z_h) \neq \emptyset$, $X \cap (Z_{n+1}) \neq \emptyset$,

или, сворачивая последнюю запись в простейшую кусочно-разрывную функцию, представить такую модель следующим образом

$$F(X) = \begin{cases} X \cap Z_1, & \text{если } X \in W_1; \\ X \cap Z_2, & \text{если } X \in W_2; \\ \dots & \\ X \cap Z_n, & \text{если } X \in W_n; \\ \emptyset, & \text{если } X \in W_{n+1}. \end{cases} \quad (1)$$

Модель (1) дает возможность классифицировать ошибки «человеческого элемента» и технические отказы технического средства судовождения (ТСС) в интерфейсе при обеспечении безопасности навигации и безопасности эксплуатации судна в целом на основных этапах технологической деятельности при выполнении судовых ключевых операций.

Чтобы конкретизировать модель классификации ошибок интерфейса, определенных на множестве X с помощью классифицирующей функции (1), допустим, что задана функция распределения вида

$$F_z(X, \varepsilon) = \prod_{k=1}^z F^{(k)}(X, \varepsilon),$$

и определены совокупности z независимых случайных величин

$$X(\varepsilon) = [X_1(\varepsilon), X_2(\varepsilon), \dots, X_z(\varepsilon)],$$

зависящих от случайного параметра ε , который может принимать лишь два значения – 0 или 1 с вероятностями, равными

$$P(\varepsilon = s) = P(s) (s = 0, 1).$$

Пусть далее случайные величины $X_k(s) (k = 1, 2, \dots, z)$ отражают события, связанные с появлением технических ошибок и личностных ошибок судоводителя в интерфейсе «техническое средство судовождения – человеческий элемент» при управлении состоянием безопасности навигации. Тогда классификацию ошибок в этом интерфейсе можно выполнять по наблюдаемой экспертной выборке $X = (X_1, X_2, \dots, X_z)$, определяя значения параметра ε , или номера класса разбиения (1), к которому принадлежит данная техническая или личностная ошибка.

Следует обратить внимание на то, что в процессе классификации ошибок в интерфейсе важно не только установить принадлежность ошибки интерфейса к определенному классу, но и иметь гарантии такой принадлежности. Поэтому для оценки надежности классификации ошибок в интерфейсе введем еще ряд дополнительных условий.

Пусть $Q(F_z)$ – вероятность классификации байесова решающего правила, оперирующего двумя классами в разбиении (1) при априорной вероятности принадлежности к ним ошибок интерфейса равной $\rho(s) = 0,5$. Пусть далее классификации подлежит наблюдаемая выборка, состоящая из z независимых ошибок

$$X(s) = [X_1(s), X_2(s), \dots, X_z(s)], \quad (2)$$

причем каждая ошибка в выборке обладает функцией распределения вида $F^{(k)}(X, s)$. Тогда отношение правдоподобия для одномерной случайной величины $X_k(s)$ из (2) с учетом значения параметра ε можно записать так

$$V^{(k)}(X) = \frac{dF^{(k)}(X, 1)}{dF^{(k)}(X, 0)}. \quad (3)$$

Полученное отношение правдоподобия (3) позволяет составить следующую индикаторную функцию

$$Y_k(s) = \begin{cases} 1 & \text{при } V^{(k)}(X) \geq 1; \\ 0 & \text{при } V^{(k)}(X) < 1. \end{cases}$$

где $Y_k(s)$ – является бинарной проекцией фактора $X_k(s)$.

Следовательно, используя полученную бинарную проекцию фактора $Y_k(s)$, можно найти различающий интервал фактора $X_k(s)$, который в данном случае будет равен величине

$$\xi_k = \alpha_k(1) - \alpha_k(0),$$

где $\alpha_k(s) = P[Y_k(s) = 1] = \int dF^k(X, s); V^k(X) \geq 1.$

Пусть далее определена функция распределения в виде

$$G_z = \prod_{k=1}^z G^{(k)}(Y_k, s),$$

бинарных проекций $Y(s) = [Y_1(s), Y_2(s), \dots, Y_z(s)]$ совокупности z независимых случайных величин $X(s) = [X_1(s), X_2(s), \dots, X_z(s)]$. Тогда функцию распределения одномерной бинарной проекции можно записать как склейку вида

$$G^{(k)}(Y, s) = P[Y_k(s) < 1] = \begin{cases} 0 & \text{при } Y \leq 0; \\ 1 - \alpha_k(s) & \text{при } 0 < Y \leq 1; \\ 1 & \text{при } Y > 1. \end{cases}$$

Если далее принять, что классификация ошибок в интерфейсе «ТСС-человеческий элемент» реализуется в соответствии с байесовым решающим правилом, то выполняется условие вида

$$Q(F_z) \leq Q(G_z),$$

где $Q(G_z)$ – вероятность погрешности классификации бинарных проекций

$$Y(s) = [Y_1(s), Y_2(s), \dots, Y_z(s)].$$

Тогда погрешность классификации бинарных проекций можно найти так

$$Q(G_z) = \int W_z^N(Y) dG_z(Y, 0), \quad (4)$$

где интегрирование ведется по всему z -мерному пространству, $N \in [0, 1]$; $W_z^N(Y)$ – отношение правдоподобия, определяемое выражением

$$W_z(Y) = \frac{dG_z(Y, 1)}{dG_z(Y, 0)}.$$

Вычисляя интеграл из правой части (4), можно найти

$$Q(F_z) \leq \prod_{z=1}^z \alpha_z^{1-N}(0) \alpha_z^1(1) + [1 - \alpha_z(0)]^{1-N} [1 - \alpha_z(1)]^N, \quad (5)$$

и, полагая в (5) $N = 0,5$, а также учитывая, что

$$\sqrt{\alpha_z(0) \alpha_z(1)} + \sqrt{[1 - \alpha_z(0)][1 - \alpha_z(1)]} \leq \sqrt{1 - \xi_z^2},$$

окончательно получим

$$Q(F_z) \leq \prod_{z=1}^z \sqrt{1 - \xi_z^2}. \quad (5)$$

Оценка (5) показывает, что погрешность классификации в интерфейсе будет зависеть от величины интервала между ошибками «человеческого элемента» и ошибками технического средства. При заданной величине погрешности

$$Q(F_z) = q,$$

можно рассчитать значение ξ_z , которое и следует принимать за основу при составлении разбиения (1). В свою очередь, классы (1) с метрикой, превышающей или равной различающему интервалу, будут гарантировать погрешность классификации не превышающую заданного уровня q .

СУДОВОЖДЕНИЕ

Таким образом, предложенная модель классификации ошибок интерфейса позволяет гарантированно разносить их по классам, и при решении задачи распределения функций в эргатической системе «ТСС-человеческий элемент» считать, что интерфейсные связи, по которым протекают информационные и силовые потоки $Z_i(t)$, являются наблюдаемыми.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовождение, интерфейс, классификация ошибок, гарантированный результат, модель*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Еремин Михаил Михайлович, аспирант ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»*
Макеев Игорь Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»
Меньшиков Вячеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *183010, г. Мурманск, ул. Спортивная, 13, ГОУ ВПО «Мурманский ГТУ»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Белоглазова

RESEARCH OF INDEXES DYNAMICS OF MOTOR OIL OF DIESEL ENGINES

«Omsk state transport university»

E.A. Beloglazova

The process of senescence of motor oil is considered. Question about expedience of proceeding in refreshing motor oil during permanent repairs of diesel engines was put and decided.

Рассмотрен процесс старения моторного масла. Поставлен и решен вопрос о целесообразности возобновления освежения моторного масла во время текущих ремонтов тепловозов.

При работе двигателя происходят качественные и количественные изменения моторного масла. Качественные изменения обусловлены физическими и химическими процессами, протекающими в двигателе, и определяются общим понятием «старение масла». Количественные изменения сводятся к уменьшению запаса масла в масляной системе и определяются понятием «угар масла». В результате старения в определенный период времени качественные показатели масла выходят за пределы допусков, и возникает необходимость в полной замене масла в маслосистеме. В результате угара возникает необходимость долива масла в масляную систему [1].

Старение масла представляет собой сложный многофункциональный и многостадийный процесс физических и химических превращений, происходящих вследствие двух основных причин: внутренних – обусловливаемых нарушением стабильности масла (испарение, окисление, полимеризация, разложение углеводородов базового масла, срабатывание присадок) и внешних – обусловливаемых загрязнением масла механическими примесями, водой, топливом и продуктами его сгорания.

В результате старения масла, показатели, характеризующие его положительные свойства (щелочность, вязкостно-температурные характеристики (ВТХ), моющие, противоизносные и противозадирные свойства), уменьшаются, а показатели, характеризующие отрицательные свойства (содержание нерастворимых примесей, кислотность), увеличиваются. Некоторые показатели (например, термоокислительная стабильность) могут оставаться практически неизменными. Процесс старения можно объективно охарактеризовать изменением вязкости, зольности, щелочности и содержанием механических примесей.

Влияние старения моторного масла на надежность двигателя является многофакторным и сказывается в двух основных направлениях: в износе (механическом и коррозионном) и в образовании отложений. Эти явления взаимосвязаны: продукты износа интенсифицируют образование отложений, отложения усиливают износ двигателя [1, 2].

Окисление масла протекает неравномерно по времени. В свежем залитом масле накопление продуктов старения протекает наиболее быстро и называется динамическим окислением. Это объясняется интенсивным окислением самых неустойчивых компонентов масла. Затем старение постепенно замедляется и стабилизируется на определенном уровне и называется стабилизацией старения. Причиной стабилизации старения является то, что в результате окисления масла и последующей полимеризации окислившись продукты образуются некоторые вещества, являющиеся замедлителями процесса окисления. Кроме того, на трущихся поверхностях образуются адсорбированные пленки из продуктов окисления масла, уменьшающие каталитическое воздействие металла на окисление.

Совокупность этих явлений приводит к тому, что масло становится более стойким к окислению (рисунки 1-4). Соответственно различают две стадии старения масла – неустановившуюся и стабилизированную [3, 4].

В результате старения базового масла возрастают его вязкость и кислотность, частично компенсируемые адсорбцией кислородсодержащих органических соединений на нерастворимых в масле примесях с последующим отделением образовавшихся компонентов в масляных фильтрах.

Вследствие старения масла необходимо производить его регулярную смену в двигателе. Оптимизация периодичности смены имеет большое экономическое значение. При не-

обоснованном увеличении сроков смены масла ухудшаются его свойства, возрастают количество отложений в двигателе, его износ и расход масла на угар.

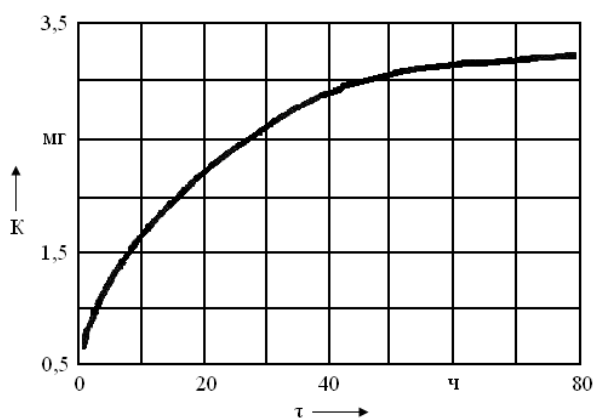


Рисунок 1 – Изменение кислотности масла по времени работы двигателя тепловоза

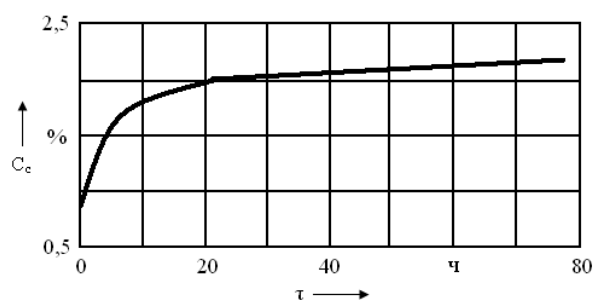


Рисунок 2 – Изменение содержания смол в масле в зависимости от времени работы двигателя тепловоза

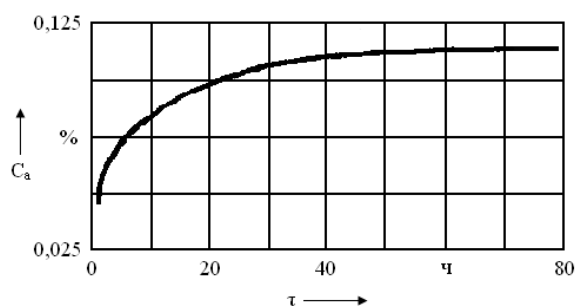


Рисунок 3 – Изменение содержания асфальтенов в масле по времени работы двигателя тепловоза

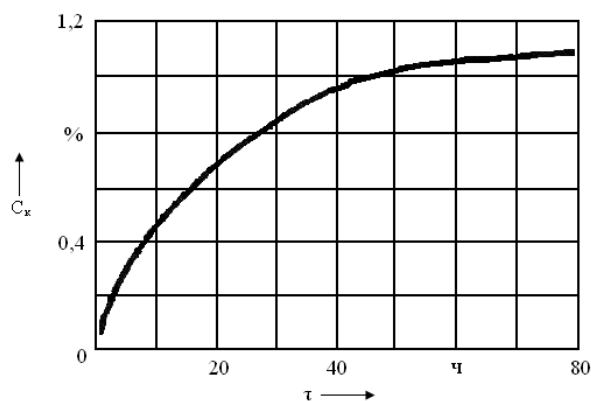


Рисунок 4 – Изменение содержания карбенов и карбонидов в масле по времени работы двигателя тепловоза

Учитывая это, можно говорить о целесообразности освежения моторного масла, которое было отменено в конце 1980-х – начале 1990-х гг. [5].

В нынешней сложившейся ситуации вопрос экономии стоит особо остро. Рациональное использование горюче-смазочных материалов очень важно для железной дороги в целом. Именно поэтому имеет смысл рассмотрения варианта, при котором на ТО производилось бы освежение масла – часть отработанного сливалась, а доливалось бы новое. Таким образом, появляется шанс, что к плановой смене параметры моторного масла были бы близки к браковочным. Это, в свою очередь, позволит избежать случаев, когда на плановую смену приходило масло с рабочими показателями, но, не смотря на это, по Инструкции оно должно быть слито. Что на деле и происходит. В итоге моторное масло, на котором тепловоз мог бы отработать еще несколько тысяч километров, сливается, и его отправляют на реостатные испытания, в то время как на реостате вполне подходит и отработанное моторное масло с браковочными показателями.

В данный момент производится ряд расчетов, а также создается математическая модель освежения моторного масла, которые смогут позволить определить оптимальное время и минимальное количество доливов масла на тепловозах в период эксплуатации между плановыми сменами, которые проводятся при выполнении текущих ремонтов в объемах ТР-2 или ТР-3.

В настоящее время проводят исследования динамики физико-химических показателей моторного масла в процессе эксплуатации по четырем сериям тепловозов, эксплуатируемых в Сибирском регионе. В результате исследований планируется получить следующие данные:

- распределение доливов моторного масла «на угар»;

- зависимость изменения вязкости, температуры вспышки и оптической плотности моторного масла от величины долива и времени эксплуатации (или пробега) тепловоза;
- влияние эксплуатационных параметров работы тепловозов (коэффициент использования мощности, доля холостого хода и др.) на процесс старения моторного масла;
- вероятностные характеристики эксплуатационных показателей качества моторного масла.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Мурзин, Л.Г. Топливо, смазка, вода / Л.Г. Мурзин, В.М. Гончаров. -М.: Транспорт, 1981. -294 с.
 - 2 Обельницкий, А.М. Топливо, смазочные материалы и охлаждающие жидкости: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / А.М. Обельницкий, Е.А. Егорушкин, Ю.Н. Чернявский. -М.: Транспорт, 1995. -272 с.
 - 3 Кузнецов, А.В. Практикум по топливу и смазочным материалам / А.В. Кузнецов. -М.: Транспорт, 1987. -196 с.
 - 4 Школьников, В.Т. Справочник по топливу, смазочным материалам и охлаждающим жидкостям / В.Т. Школьников, И.Г. Анисимов. -М.: Транспорт, 1999. -326 с.
 - 5 Беленький, А.Д. Экономика моторных масел на тепловозах / А.Д. Беленький, Г.Н. Иванов. -М.: Транспорт, 1984. -215 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:* старение и освежение моторного масла, надежность двигателя, тепловоз
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Белоглазова Елена Анатольевна, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСХОДА МОТОРНОГО МАСЛА ДИЗЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Белоглазова

RESEARCH OF OPERATING EXPENSE OF MOTOR OIL OF MOBILE OBJECTS DIESELS
«Omsk state transport university»
E.A. Beloglazova

Technological-economical indexes of diesels of mobile objects influence on them of physical and chemical properties of motor oil are considered. High-quality changes of motor oil, resulting in his senescence are considered too.

Рассмотрены технико-экономические показатели дизелей тепловозов, воздействие на них физико-химических свойств моторного масла, а также качественные изменения моторного масла, приводящие к его «старению».

Железнодорожный транспорт является одним из крупнейших в стране потребителей горюче-смазочных материалов (ГСМ), которые широко используются для автономных локомотивов (тепловозы, мотовозы, дизель-поезда) и другой железнодорожной техники. Годовой расход дизельного топлива составляет более 3 млн. т, что соответствует 11% общего его расхода в России. Кроме того, на железнодорожном транспорте применяется свыше ста наименований масел и смазок, из которых 58,5% (около 82 тыс. т) приходится на моторные масла [1].

Одним из основных технико-экономических показателей дизелей, характеризующих экономичность локомотива или его энергетической установки в эксплуатации, является расход моторного масла. Он определяется следующими основными характеристиками: емкостью смазочной системы двигателя, интенсивностью эксплуатации транспортного средства, сроком замены масла и количеством масла, доливаемого в систему в процессе эксплуатации [2].

Эксплуатационный расход масла складывается из двух основных составляющих: на долив (для восполнения его расхода на угар) и на замены в связи с потерей его работоспособности. В двухтактных дизелях расход на угар составляет 80-90%, а в четырехтактных обе составляющие сопоставимы [2, 3].

Проведены исследования расхода моторного масла за 2007-2008 гг. трех локомотивных депо по пяти сериям тепловозов. Результаты приведены в таблице.

Наибольший эксплуатационный расход масла среди магистральных локомотивов имеют тепловозы серии 2ТЭ10М (локомотивное депо «У») с двухтактными дизелями (75,9%).

В депо «Т» эксплуатируются четыре серии тепловозов, причем три из них с четырехтактными дизелями мощностного ряда Д49. Для тепловозов 2ТЭ116 и ТЭМ7 расход масла в эксплуатации в среднем составляет 60%, а плановая смена и ремонт 40%. Эти серии тепловозов в депо эксплуатируются длительное время.

Тепловозы ТЭП70 эксплуатируются третий год и очень сильно отличаются эксплуатационным расходом моторного масла, который составляет 30% общего его расхода.

Снижение доли расхода масла «на угар» достигается совершенствованием конструкции дизеля, а также подбором масла с соответствующим уровнем его эксплуатационных качеств.

Изменения физико-химических свойств моторного масла в процессе эксплуатации связаны с химическими превращениями его основы и присадок, образованием нерастворимых продуктов изнашивания поверхностей трения и сгорания топливовоздушной смеси, попаданием неорганических загрязнений (пыли), охлаждающих жидкостей и топлива [4].

Таблица – Расход моторного масла

Серия тепловоза	Депо приписки	Доля расхода моторного масла, %		
		в эксплуатации «на угар»	браковка	плановая смена и ремонт
2ТЭ116	Т	50,4	9,2	40,4
ТЭП70	Т	23,2	6,8	70,0
ТЭМ7	Т	42,3	17,1	40,6
ЧМЭЗ	Т	41,5	16,2	42,3
2ТЭ10	У	68,4	7,5	24,1
ЧМЭЗ	Н	63,3	25,4	11,3

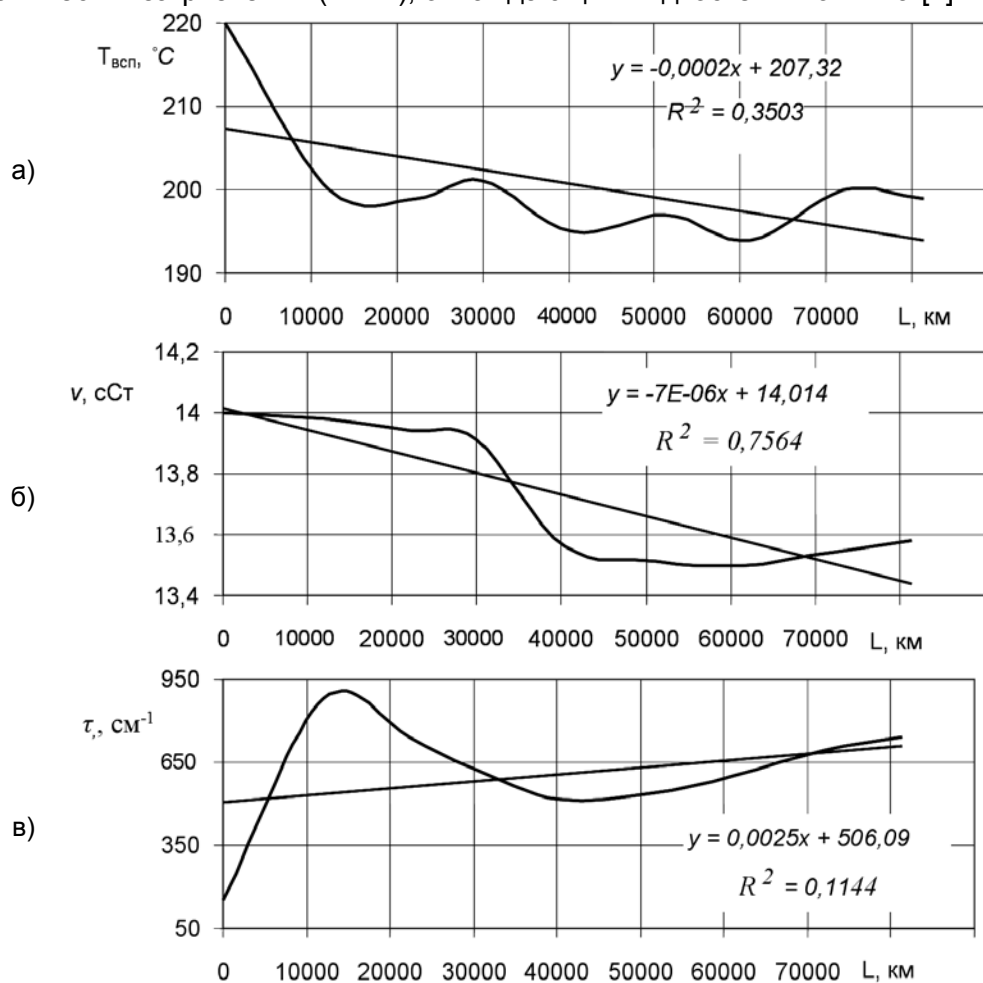


Рисунок – Динамика физико-химических параметров моторного масла в процессе эксплуатации: а)-температура вспышки; б)-кинематическая вязкость; в)-оптическая плотность

Одни и те же моторные масла (в частности М14Г₂) при эксплуатации в дизелях одной и той же серии тепловозов с использованием одинакового дизельного топлива могут иметь отличия по работоспособности, то есть по сроку службы до замены. Это проявляется в разной скорости изменения критериев работоспособности масел (температура вспышки, вязко-

сти, оптической плотности, щелочного и кислотного чисел).

Качественные изменения моторного масла, обусловленные физическими и химическими процессами, протекающими в двигателе, определяются общим понятием «старение масла». В результате старения после определенного пробега тепловоза качественные показатели масла выходят за пределы допусков, и возникает необходимость в полной замене масла в системе дизеля.

В локомотивном депо «У» проведено исследование изменения качественных показателей моторного масла М14Г₂ тепловозов с дизелями 10Д100. Параметры масла контролировались ежемесячно, пробег между отбором составлял 9000-11000 км (на каждом ТО-3 и ТР-1). В эксплуатации производился долив масла для выполнения его расхода «на угар» в количестве 200-450 кг в месяц.

На рисунке приведены статистические зависимости изменения температуры вспышки, кинематической вязкости и оптической плотности (загрязненности) от пробега тепловозов №0176 (А).

Статистические зависимости могут быть описаны аналитическими выражениями

$$y = ax^2 + bx + c, \quad (1)$$

или

$$y = ax + b, \quad (2)$$

где a, b, c – коэффициенты;

x – пробег тепловоза, км.

В виду малости коэффициентов при x^2 рациональнее принять выражение (2) для описания динамики параметров моторного масла в процессе эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Школьников, Е.Н. Политика ОАО «РЖД» в области горюче-смазочных материалов / Е.Н. Школьников // Железнодорож. трансп. -2008. -№9. -С. 48-50.

2 Зависимость интенсивности старения моторного масла от его расхода на угар / В.А. Артемьев, Д.В. Войков, М.А. Григорьев, С.Н. Федоров // Химия и технология топлив и масел. -1993. -№1. -С. 14-16.

3 Рыжов, В.А. Моторные масла для современных тепловозных дизелей / В.А. Рыжов, В.Т. Ткачев // Железнодорож. трансп. -2008. -№9. -С. 51-53.

4 Оценка степени старения моторного масла в тепловозном двигателе / В.А. Закупра, В.Т. Ткачев, П.М. Крыгина, О.Б. Догадин // Химия и технология топлив и масел. -1993. -№5. -С. 26-28.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моторное масло, технико-экономические показатели, тепловоз
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Белоглазова Елена Анатольевна, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ВЫСОКОБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО КОМПЛЕКСУ ПАРАМЕТРОВ СМАЗОЧНОГО МАСЛА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF DETAILS OF TSILINDRO-PISTON GROUP OF SHIP DIESEL ENGINES WITH THE HIGH ROTARY SPEED ON THE COMPLEX OF PARAMETERS OF THE GREASE OIL
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 S.V. Vikulov

The mathematical model of forecasting of a residual resource of diesel engines on a complex of parametres of a grease oil is received.

Получена математическая модель прогнозирования остаточного ресурса дизелей по комплексу параметров смазочного масла.

В статье [1] показано, что угар масла является достаточно информативным диагностическим параметром, наряду с концентрацией железа и алюминия, для оценки технического состояния ЦПГ дизелей М400, М401А-1 (12ЧСН18/20) скоростных речных судов. Кроме того было установлено наличие тесной корреляционной зависимости между концентрацией же-

леза и алюминия в масле. Коэффициент корреляции ρ для всех вариантов расчета по модификациям рассматриваемых дизелей превышает величину равную 0,8. В то же время следует отметить отсутствие тесной корреляции между концентрацией железа и алюминия от наработки дизеля при исправном его состоянии. Это свидетельствует о стабилизации данных параметров при установившемся износе.

Цель настоящей работы – разработать на основе полученных ранее результатов [1, 2] математические модели прогнозирования остаточного ресурса дизелей по комплексу диагностических параметров, в качестве которых нами обосновано приняты средняя концентрация железа в масле k_{Fe} (г/т), угар масла g_y , (кг/ч) и наработка дизеля τ (тыс. ч) Рассматривалось два множества состояний дизеля: исправное $\{D_1\}$ и неисправное $\{D_2\}$. Методика разделения дизелей по состояниям описана в работе [1]. Ниже изложены основные результаты такой разработки.

Анализ регрессионных моделей (таблица 1):

– линейная

$$g_y = b_0 + b_1 \cdot k_{Fe}; \quad (1)$$

–квадратичная

$$g_y = a_0 + a_1 \cdot k_{Fe} + a \cdot k_{Fe}^2. \quad (2)$$

показал, что наиболее приемлемой является квадратичная модель. Этот вывод согласуется с результатами других исследователей [3] о квадратичной зависимости угара масла от износа деталей ЦПГ двигателя, основным диагностическим параметром которых является концентрация железа в масле. Модель адекватно описывает опытный материал, погрешность аппроксимации наименьшая. В формулах (1) и (2) и в таблице 1 приняты обозначения следующих величин:

b_0, b_1, a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, определяемые путем обработки опытных точек $\{g_y, k_{Fe}\}$

методом наименьших квадратов;

ρ, η – коэффициент и индекс корреляции;

F – критерий Фишера;

δ – относительная вероятная ошибка аппроксимации.

Для выбора подходящей математической модели прогнозирования было проведено двухфакторное полиномиальное моделирование опытного материала линейной, неполной и полной квадратичными моделями, результаты которого представлены в работе [2].

Таблица 1 – Характеристики регрессионных моделей для состояния $\{D_1\}$ судовых дизелей

Тип дизеля	Вид модели	ρ или η	F	$\delta, \%$
M400	$g_y = 3,94 + 0,005k_{Fe}$	0,15	0,32	11,9
	$g_y = 5,14 - 0,10k_{Fe} + 0,001k_{Fe}^2$	0,45	4,52	10,8
M401A-1	$g_y = 3 + 0,01k_{Fe}$	0,15	0,21	13,5
	$g_y = 4,98 - 0,12k_{Fe} + 0,002k_{Fe}^2$	0,42	4,65	11,4

Анализ полученных материалов позволил сделать вывод о наибольшей приемлемости полной квадратичной модели вида

$$g_y = a_0 + a_1\tau + a_2k_{Fe} + a_3\tau k_{Fe} + a_4\tau^2 + a_5k_{Fe}^2, \quad (3)$$

для которой индекс корреляции для дизелей M400 и M401A-1 исправного состояния соответственно составляют величины 0,78 и 0,96, а относительные вероятные ошибки аппроксимации – 7,51% и 3,92%.

Таблица 2 – Характеристики регрессионных моделей для состояния $\{D_1\}$ судовых дизелей

Тип дизеля	Вид модели	ρ или η	F	$\delta, \%$
M400	$g_y = 2,79 + 0,28\tau + 0,0085k_{Fe}$	0,67	5,73	8,95
	$g_y = 3,63 + 0,42\tau - 0,07k_{Fe} - 0,021\tau^2 + 0,00071k_{Fe}^2$	0,74	8,23	8,18
M401A-1	$g_y = 2,03 + 0,30\tau + 0,0034k_{Fe}$	0,95	37,7	4,44
	$g_y = 2,44 + 0,26\tau - 0,0164k_{Fe} + 0,0043\tau^2 + 0,0003k_{Fe}^2$	0,95	39,8	4,39

Для других моделей эти величины несколько ниже. Однако, исходя из принципа просто-

ты для практического использования можно рекомендовать линейную и неполную квадратичную модели, характеристики которых приведены в таблице 2.

Диагностические нормативы угара масла $g_{y,доп}$ и $g_{y,пр}$, средней концентрации железа в масле $k_{Fe,доп}$ и $k_{Fe,пр}$, рассчитанные при принятых

Таблица 3 – Диагностические нормативы при $\alpha = \beta = 0,05$

Тип дизеля	$g_{y,доп}$, кг/ч	$k_{Fe,доп}$, г/т	$g_{y,пр}$, кг/ч	$k_{Fe,пр}$, г/т
M400	4,00	21	4,55	60
M401A-1	3,30	21	3,75	50

ошибках первого рода α («ложная тревога») и второго рода β («пропуск дефекта») представлены в таблице 3.

Результаты моделирования линейной моделью дизелей M400. Допустимый ресурс

$$4 = 2,79 + 0,28\tau_{доп} + 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 21; \tau_{доп} = 3,68 \text{ тыс. ч.}$$

Предельный ресурс

$$4,55 = 2,79 + 0,28\tau_{пр} + 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot 60; \tau_{пр} = 4,46 \text{ тыс. ч.}$$

«Зона неопределенности»

$$\Delta\tau = 0,78 \text{ тыс. ч.}$$

Прогнозные формулы:

$$\tau_{ост}^{доп} = \tau_{доп} - \tau_i = 3,68 - \frac{g_y - 2,79 - 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot k_{Fe}}{0,28} = 13,64 - 3,57g_y + 0,03k_{Fe}, \text{ тыс. ч;} \quad (4)$$

$$\tau_{ост}^{пр} = \tau_{пр} - \tau_i = 4,46 - \frac{g_y - 2,79 - 8,5 \cdot 10^{-3} \cdot k_{Fe}}{0,28} = 14,42 - 3,57g_y + 0,03k_{Fe}, \text{ тыс. ч.} \quad (5)$$

Результаты моделирования линейной моделью дизелей M401A-1. Допустимый ресурс

$$3,3 = 2,03 + 0,30\tau_{доп} + 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot 21; \tau_{доп} = 3,96 \text{ тыс. ч.}$$

Предельный ресурс

$$3,75 = 2,03 + 0,30\tau_{пр} + 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot 50; \tau_{пр} = 5,17 \text{ тыс. ч.}$$

«Зона неопределенности»

$$\Delta\tau = 1,21 \text{ тыс. ч.}$$

Прогнозные формулы:

$$\tau_{ост}^{доп} = \tau_{доп} - \tau_i = 3,96 - \frac{g_y - 2,03 - 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot k_{Fe}}{0,3} = 10,73 - 3,33g_y + 0,01k_{Fe}, \text{ тыс. ч;} \quad (6)$$

$$\tau_{ост}^{пр} = \tau_{пр} - \tau_i = 5,17 - \frac{g_y - 2,03 - 3,4 \cdot 10^{-3} \cdot k_{Fe}}{0,3} = 11,94 - 3,33g_y + 0,01k_{Fe}, \text{ тыс. ч.} \quad (7)$$

Результаты моделирования квадратичной моделью дизелей M400. Допустимый ресурс

$$4 = 3,63 + 0,42\tau_{доп} - 7 \cdot 10^{-2} \cdot 21 - 2,1 \cdot 10^{-2} \tau_{доп} + 7,1 \cdot 10^{-4} \cdot 21^2 = 2,47 + 0,42\tau_{доп} - 2,1 \cdot 10^{-3} \tau_{доп}^2.$$

Получаем квадратное уравнение

$$\tau_{доп}^2 - 20\tau_{доп} + 72,714 = 0,$$

действительный корень

$$\tau_{доп} = 4,78 \text{ тыс. ч.}$$

Прогнозная формула (преобразуем полиномиальное уравнение (см. таблицу 2) к виду

$$\tau^2 - 20\tau + 47,62g_y + 3,33k_{Fe} - 3,14 \cdot 10^{-2} k_{Fe} - 3,14 \cdot 10^{-2} k_{Fe} - 172,857;$$

$$\tau_i = 10 - \sqrt{272,86 - 47,62g_y - 3,33k_{Fe} + 3,14 \cdot 10^{-2} k_{Fe}^2}.$$

Тогда

$$\tau_{ост}^{доп} = \sqrt{272,86 - 47,62g_y - 3,33k_{Fe} + 3,14 \cdot 10^{-2} k_{Fe}^2} - 5,22. \quad (8)$$

Результаты моделирования квадратичной моделью дизелей M401A-1. Допустимый ресурс

$$3,3 = 2,44 + 0,26\tau_{доп} - 1,64 \cdot 10^{-2} \cdot 21 + 4,3 \cdot 10^{-3} \tau_{доп}^2 + 3 \cdot 10^{-4} \cdot 21^2 = 2,23 + 0,26\tau_{доп} + 4,3 \cdot 10^{-3} \tau_{доп}^2.$$

Получаем квадратное уравнение

$$\tau_{доп}^2 + 60,465\tau_{доп} - 249,302 = 0,$$

действительный корень

$$\tau_{доп} = 3,875 \text{ тыс. ч.}$$

Прогнозная формула (преобразуем полиномиальное уравнение см. таблицу 2) к виду

$$\tau^2 + 60,465\tau - 232,558g_y - 3,814k_{Fe} + 7 \cdot 10^{-2} k_{Fe} + 567,442;$$

$$\tau_i = -30,23 + \sqrt{346,56 + 232,56g_y + 3,81k_{Fe} \pm 7 \cdot 10^{-2} k_{Fe}^2}.$$

Тогда

$$\tau_{осм}^{доп} = \sqrt{46,56 + 232,56g_y + 3,81k_{Fe} - 7 \cdot 10^{-2} k_{Fe}^2} - 26,36. \quad (9)$$

Адекватность разработанных моделей прогнозирования остаточного ресурса дизеля проверялась на опытном материале. Апостериорная достоверность прогнозирования составила, например, для линейной модели величину, равную 91%, при выбранной ошибке второго рода $\beta = 0,05$. Разработанные модели прогнозирования по мере поступления новой информации и детального технико-экономического анализа при отлаженной системе контроля состояния дизелей на основе спектрального анализа масла будут обучаться, то есть корректироваться и уточняться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Викулов, С.В. Оценка технического состояния судовых дизелей по угару масла / С.В. Викулов, Б.О. Лебедев // Проектирование и расчет сцепов судов внутреннего плавания : сб. науч. тр. -Новосибирск, 1986. -С. 96-103.

2 Викулов, С.В. Прогнозирование расхода масла судовых дизелей по косвенным параметрам / С.В. Викулов, Б.О. Лебедев // Вопросы прочности и эксплуатационной надежности судовых сцепных устройств : сб. науч. тр. -Новосибирск, 1986. -С. 96-101.

3 Бурштейн, Л.М. Определение расхода масла на угар при выборе величины зазоров гильза-поршень / Л.М. Бурштейн, С.В. Кобяков, В.И. Твердохлеб // Двигателестроение. - 1984. -№10. -С. 48-50.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *прогнозирование, остаточный ресурс, расход масла*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ВЫСОКОБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО РАСХОДУ МАСЛА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.В. Викулов

FORECASTING OF THE RESIDUAL RESOURCE OF DETAILS OF TSILINDRO-PISTON GROUP OF SHIP DIESEL ENGINES WITH THE HIGH ROTARY SPEED ON OIL CONSUMPTION
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 S.V. Vikulov

The mathematical model of forecasting of a residual resource of diesel engines on oil consumption is received.

Получена математическая модель прогнозирования остаточного ресурса дизелей по расходу масла.

Известно [1], что расход g_m смазочного масла в ДВС состоит из расхода на угар g_y , на испарение непосредственно из картера машины g_k , на различные утечки g_{ym} и на слив $g_{сл}$. При хорошем техническом состоянии дизеля утечки масла g_{ym} практически отсутствуют. В связи с переходом СЭУ речных судов на бесшумную работу масла, величина $g_{сл}$ становится несущественной. Из оставшихся компонентов расхода масла наибольшее значение для судовых дизелей имеет величина g_y , которая может достигать 80-85% от общего расхода масла [1]. Таким образом, под расходом масла мы понимаем его расход на угар, с которым уносятся продукты изнашивания деталей ЦПГ дизеля [2, 3].

В работе [2] оценена взаимосвязь между техническим состоянием ЦПГ и угаром масла на примере двух модификаций дизелей М400, М401А-1 (12ЧСН18/20) скоростных речных судов. Показано, что угар масла является достаточно информативным диагностическим параметром оценки технического состояния ЦПГ, наряду с концентрацией железа и алюминия в масле, а также установлен теоретический закон распределения угара масла (гамма-

распределение). В работе [3] предпринята попытка разработать математические модели для прогнозирования расхода масла в эксплуатации по комплексу косвенных параметров, не прибегая к его измерению.

Цель настоящей работы разработать на основе полученных ранее результатов [2, 3] математическую модель прогнозирования остаточного ресурса дизелей по расходу масла. Ниже изложена основные результаты такой разработки.

Таблица 1 – Диагностические нормативы при $\alpha = \beta = 0,05$

Тип дизеля	$g_{y,доп}$, кг/ч	$g_{y,пр}$, кг/ч
M400	4,00	4,55
M401A-1	3,30	3,75

Диагностические нормативы угара масла, рассчитанные при принятых ошибках первого α («ложная тревога») и второго рода β («пропуск дефекта») представлены в таблице 1.

Для получения прогнозной модели статистические данные аппроксимировались полиномами вида

$$g_y(\tau) = b_0 + b_1 \cdot \tau; \tag{1}$$

$$g_y(\tau) = a_0 + a_1 \cdot \tau + a_2 \cdot \tau^2, \tag{2}$$

где τ – наработка дизеля, тыс. ч;

b_0, b_1, a_0, a_1, a_2 – коэффициенты, определяемые путем обработки опытных точек $\{\tau_i, g_{yi}\}$ методом наименьших квадратов.

Для проверки адекватности моделей рассчитывались: коэффициент корреляции ρ , индекс корреляции η , критерий Фишера F и относительная вероятная ошибка аппроксимации δ . Результаты моделирования представлены в таблице 2.

Анализ результатов таблицы 2 показывает, что обе модели для всех типов дизелей адекватно описывают опытный материал.

Таблица 2 – Характеристики регрессионных моделей для исправного состояния дизелей $\{D_i\}$

Тип дизеля	Вид модели	ρ или η	F	δ , %
M400	$g_y = 2,81 + 0,27\tau$	0,63	9,76	9,38
	$g_y = 2,67 + 0,36\tau + 0,012\tau^2$	0,63	9,18	9,31
M401A-1	$g_y = 2,10 + 0,31\tau$	0,88	39,8	7,23
	$g_y = 2,36 + 0,11\tau + 0,01\tau^2$	0,88	39,3	7,03

Квадратичная модель имеет несколько меньшую погрешность аппроксимации. Однако, исходя из принципа простоты принимаем в качестве рабочей линейную модель прогнозирования.

Схему линейного прогнозирования ресурса дизеля можно представить рисунком, на котором обозначены:

τ_i – текущая наработка дизеля, тыс. ч;

$\tau_{доп}, \tau_{пр}$ – допустимая и предельная наработка дизеля при установленных ошибках $\alpha = \beta = 0,05$, тыс. ч;

g_{yi} – угар масла на момент прогнозирования, τ_i , кг/ч;

$g_{y,ном}$ – номинальная величина g_y , определяемая при $\tau = 0$, кг/ч;

$g_{y,доп}, g_{y,пр}$ – допустимый и предельный угар масла при установленных ошибках $\alpha = \beta = 0,05$, кг/ч;

D_1, D_2 – плотности распределения угара масла при исправном и дефектном состоянии деталей ЦПГ дизеля.

Тогда прогнозные формулы для определения остаточного ресурса дизеля в общем виде

$$\tau_{ост}^{доп} = \tau_{доп} - \tau_i = \tau_i \left(\frac{g_{y,доп} - g_{y,ном}}{g_{yi} - g_{y,ном}} - 1 \right); \tag{3}$$

$$\tau_{ост}^{пр} = \tau_{пр} - \tau_i = \tau_i \left(\frac{g_{y,пр} - g_{y,ном}}{g_{yi} - g_{y,ном}} - 1 \right), \tag{4}$$

где $\tau_{ост}^{доп}, \tau_{ост}^{пр}$ – остаточный ресурс, соответственно определяемый по допустимому $g_{y,доп}$ и предельному нормативу $g_{y,пр}$.

С учетом полученных экспериментальных данных (см. таблицу 1) рабочие прогнозные формулы примут следующий вид:

– дизель М400

$$\tau_{осм}^{доп} = \tau_i \left(\frac{1,19}{g_{yi} - 2,81} - 1 \right); \quad (5)$$

$$\tau_{осм}^{пр} = \tau_i \left(\frac{1,74}{g_{yi} - 2,81} - 1 \right); \quad (6)$$

– дизель М401А-1

$$\tau_{осм}^{доп} = \tau_i \left(\frac{1,2}{g_{yi} - 2,1} - 1 \right); \quad (7)$$

$$\tau_{осм}^{пр} = \tau_i \left(\frac{1,65}{g_{yi} - 2,1} - 1 \right). \quad (8)$$

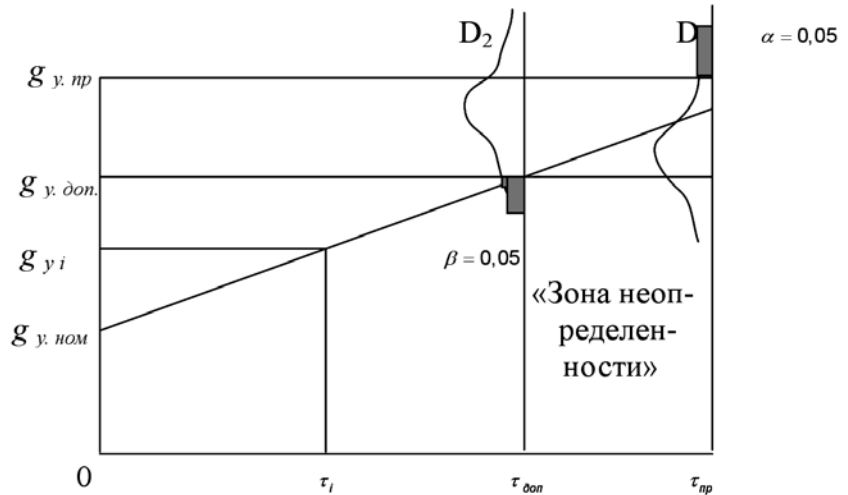


Рисунок – Схема прогнозирования

Апробация рабочих формул (5) и (6), проведенная по полученному опытному материалу, показала их работоспособность. Апостериорная достоверность прогнозирования по допустимому нормативу $g_{y, доп}$ ($\beta = 0,05$) составила соответственно 91% и 93% для дизелей М400 и М401А-1.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лебедев, Б.О. Теплофизические основы процесса угара масла в дизелях и разработка эксплуатационных мероприятий по его сокращению: дис. ... д-ра техн. наук / Б.О. Лебедев. - Новосибирск, 2001.

2 Викулов, С.В. Оценка технического состояния судовых дизелей по угару масла / С.В. Викулов, Б.О. Лебедев // Проектирование и расчет сцепов судов внутреннего плавания : сб. науч. тр. -Новосибирск, 1986. -С. 96-103.

3 Викулов, С.В. Прогнозирование расхода масла судовых дизелей по косвенным параметрам / С.В. Викулов, Б.О. Лебедев // Вопросы прочности и эксплуатационной надежности судовых сцепных устройств : сб. науч. тр. -Новосибирск, 1986. -С. 96-101.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прогнозирование, остаточный ресурс, расход масла

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Викулов Станислав Викторович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.К. Романченко

SYMMETRIC CONCERNING AN AXIS DEFORMATIONS OF A CYLINDRICAL COVER

«Novosibirsk state academy of water transport»

M.K. Romanchenko

In article it is offered to consider deformation of a private class symmetric concerning an axis covers – cylindrical covers. The regional conditions reflecting absence of movings and angles of rotation at edges of a cover are defined.

Предложено рассмотреть деформацию частного класса осесимметричных оболочек – цилиндрических оболочек. Определяются краевые условия, отражающие отсутствие перемещений и углов поворота на краях оболочки.

Положение точки средней поверхности осесимметричной цилиндрической оболочки определяется продольной координатой χ и углом ϕ . Деформации и искривления средней поверхности оболочки вычисляются по формулам:

$$\varepsilon_1 = u_x; \quad \varepsilon_2 = -\omega/a; \quad \chi_1 = \omega_{xx}; \quad \chi_2 = \omega/a^2, \quad (1)$$

где a – радиус средней поверхности оболочки.

Уравнения равновесия цилиндрической оболочки [1] можно получить из общих с заменой $R_1 d\theta$ на dx , θ на $\pi/2$ и $1/R_1$ нулем. Проще это сделать непосредственно, рассматривая равновесие элемента оболочки. При этом получим

$$Q_x + \frac{T_2}{a} + q = 0; \quad M_{1,x} = Q. \quad (2)$$

Причем

$$M_1 = -Dw_{xx}; \quad T_2 = -\frac{Ehw}{a}. \quad (3)$$

Заметим, что приведенное представление усилия T_2 получается из общих формул с учетом отсутствия продольных сил

$$T_2 = B(\varepsilon_2 + \nu\varepsilon_1). \quad (4)$$

Система (2), (3) сводится к одному уравнению которое можно назвать разрешающим уравнением теории расчета цилиндрической оболочки

$$\omega^{IV} + 12(1-\nu^2)h^{-2}a^{-2}\omega = \frac{q}{D}. \quad (5)$$

Если найдена функция ω , то можно вычислить усилия, моменты, напряжения, деформации оболочки. При интегрировании уравнения (5) задаются краевые значения двух величин, по одной из двух пар: $\{w, a\}$, $\{w_x, M_1\}$.

Четырех краевых условий, по два на каждом краю оболочки, достаточно для определения всех констант интегрирования, появляющихся при решении уравнения (5). Заметим, что при анализе перемещений оболочку часто разбивают на участки соответственно изменениям нагрузки или размеров оболочки. В этих случаях условия на краях оболочки дополняются условиями сопряжения – условиями непрерывности моментов, перерезывающих сил, перемещений, углов поворота.

Общее решение неоднородного уравнения (5) складывается из частного решения ω^* этого уравнения и общего решения соответствующего однородного уравнения

$$\varpi^{IV} + 12(1-\nu^2)h^{-2}a^{-2}\varpi = 0, \quad (6)$$

таким образом, имеем

$$\omega = \omega^* + \varpi. \quad (7)$$

Общее решение линейного однородного уравнения (6) можно представить в виде любой линейной комбинации независимых частных решений $\exp(\pm 1 \pm i)kx$, где положительное число k вычисляется по формуле

$$k^4 h^2 a^2 = 3(1-\nu^2).$$

В частности, если рассматривается длинная цилиндрическая оболочка под действием сил и моментов, приложенных к одному из краев оболочки, то решение удобно представить в виде

$$\varpi = \exp(-kx)[C_1 \cos(kx) + C_2 \sin(kx)] + \exp(kx)[C_3 \cos(kx) + C_4 \sin(kx)]. \quad (8)$$

Если начало координат выбрано на загруженном торце оболочки, то можно утверждать, что прогибы, деформации, напряжения, вызванные действием сил и моментов на упомянутом торце, должны затухать по мере удаления от этого торца. Такому условию удовлетворяет лишь первая группа слагаемых правой части (8). Поэтому полагаем $C_3 = C_4 = 0$, пренебрегая условиями на другом конце оболочки. Постоянные C_1 и C_2 в этом случае легко определить по заданным перерезывающей силе и моменту, действующими на загруженном торце, либо по заданным перемещениям и поворотам торцевых сечений.

В случае достаточно короткой оболочки удобнее представлять общее решение однородного уравнения (6) в форме

$$\varpi = C_1 \sinh(kx) \sin(kx) + C_2 \sinh(kx) \cos(kx) + C_3 \cosh(kx) \sin(kx) + C_4 \cosh(kx) \cos(kx).$$

Например, в случае, когда на одном конце цилиндрической оболочки, не несущей распределенной нагрузки, заданы перемещения w_0 , $\Theta_0 = 0$, а на другом конце при $x=l$ перемещения отсутствуют: $w_{|x=l} = 0$, $\Theta = w_{|x=l} = 0$ легко получить систему уравнений для определения констант:

$$C_4 = w_0; \quad C_2 + C_3 = 0;$$

$$C_1 \sinh(kl) \sin(kl) + C_2 \sinh(kl) \cos(kl) + C_3 \cosh(kl) \sin(kl) + C_4 \cosh(kl) \cos(kl) = 0;$$

$$C_1 [\sinh(kl) \cos(kl) + \cosh(kl) \sin(kl)] + C_2 [-\sinh(kl) \sin(kl) + \cosh(kl) \cos(kl)] +$$

$$C_3 [\sinh(kl) \sin(kl) + \cosh(kl) \cos(kl)] + C_4 [-\cosh(kl) \sin(kl) + \sinh(kl) \cos(kl)] = 0.$$

Несомненно, такую систему решить нетрудно, однако при исследовании оболочек, представленных несколькими участками, составление условий сопряжений оказывается громоздким. Поэтому ранее усилия многих исследователей были направлены на поиски таких форм представления общего решения уравнения (6), которые предельно облегчили бы как процесс составления условий сопряжений разных участков оболочки, так и процедуру решения получающейся таким способом системы уравнений для определения констант.

Одна из упомянутых возможностей представляется применением функций А.Н. Крылова, производные которых весьма просто выражаются через сами функции [2]. Функции Крылова можно определить равенствами;

$$w_1 = \cosh \xi \cos \xi; w_2 = 0,5(\cosh \xi \sin \xi + \sinh \xi \cos \xi);$$

$$w_3 = 0,5 \sinh \xi \sin \xi; w_4 = 0,25(\cosh \xi \sin \xi - \sinh \xi \cos \xi),$$

непосредственным дифференцированием которых легко найти $w_{1,\xi} = -4w_4$; $w_{2,\xi} = w_1$; $w_{3,\xi} = w_2$; $w_{4,\xi} = w_3$, а после этого и производные любого порядка от функций Крылова можно выразить через одну из этих функций. Эффективность применения функций Крылова появляется, например, при расчете перемещений точек цилиндрической оболочки радиуса a и длиной $2l$, глухо закрытой по торцам и подверженной действию распределенной непрерывно по окружности силы P . Выделяем два участка оболочки: от $-l$ до 0 и от 0 до l . На каждом из них представляем перемещения в форме

$$w^{(m)} = C_1^{(m)} w_1 + C_2^{(m)} w_2 + C_3^{(m)} w_3 + C_4^{(m)} w_4; (m = 1, 2).$$

Требования непрерывности перемещений, углов поворота, изгибающих моментов сводятся к непрерывности прогибов вместе с первыми двумя производными при $x = 0$:

$$w^{(1)}|_{x=0} = w^{(2)}|_{x=0}; w^{(1)}_{,x}|_{x=0} = w^{(2)}_{,x}|_{x=0}; w^{(1)}_{,xx}|_{x=0} = w^{(2)}_{,xx}|_{x=0}.$$

Условие разрыва перерезывающих сил

$$-Dw^{(1)}_{,xxx} = P - Dw^{(2)}_{,xxx}.$$

Свойства функций Крылова позволяют очень легко выписать первые три из условий сопряжения и установить равенства

$$C_1^{(1)} = C_1^{(2)}; C_2^{(1)} = C_2^{(2)}; C_3^{(1)} = C_3^{(2)}.$$

Четвертое условие дает соотношение $C_4^{(2)} = C_4^{(1)} + PD^{-1}k^{-3}$. Поэтому прогибы оболочки представим так

$$w^{(1)} = C_1 w_1 + C_2 w_2 + C_3 w_3 + (C_4 - 0,5PD^{-1}k^{-3}), \text{ при } x \leq 0;$$

$$w^{(2)} = C_1 w_1 + C_2 w_2 + C_3 w_3 + (C_4 + 0,5PD^{-1}k^{-3}), \text{ при } x \geq 0.$$

Соображение четности перемещений по переменной x приводят к значениям $C_2 = 0$, $C_4 = 0$.

Краевые условия при $x = \pm l$, отражающие отсутствие перемещений и углов поворота на краях оболочки, приводят к уравнениям

$$C_1 w_1(kl) + C_3 w_3(kl) = -0,5PD^{-1}k^{-3}; -4C_1 w_4(kl) + C_3 w_3(kl) = 0.$$

Из которых можно найти:

$$C_3 = -\frac{\cosh(kl) \sin(kl) + \sinh(kl) \cos(kl)}{\sinh(kl) \cosh(kl) + \sin(kl) \cos(kl)} \frac{P}{2Dk^3}; C_1 = -2 \frac{\cosh(kl) \sin(kl) - \sinh(kl) \cos(kl)}{\sinh(kl) \cosh(kl) + \sin(kl) \cos(kl)} \frac{P}{2Dk^3}.$$

Нетрудно проследить зависимость приведенного прогиба

$$w^* = -w \frac{2Dk^3}{P} \frac{\sinh(kl) \cosh(kl) + \sin(kl) \cos(kl)}{\cosh(kl) \cos(kl)},$$

от продольной координаты

$$w^* = [\operatorname{tg}(kl) + \operatorname{tgh}(kl)] \cosh(kl) \cos(kx) + [\operatorname{tg}(kl) - \operatorname{tgh}(kl)] \sinh(kl) \sin(kx),$$

при задании различных значений параметра kl . Прогиб будет затухать по мере удаления от мест приложения внешней нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Романченко, М.К. Исследование жесткости упругих элементов / М.К. Романченко // Технология машиностроения. -М., 2009. -№5 (83). -С. 29-30.

2 Толоконников, Л.А. Механика деформируемого твердого тела / Л.А. Толоконников. -М.: Высш. шк., 1979. -319 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: деформация и искривление, поверхность цилиндрической оболочки, непрерывность перемещений, углов поворота

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Романченко Михаил Константинович, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.К. Романченко

INSTABILITY OF A CYLINDRICAL COVER
«Novosibirsk state academy of water transport»
M.K. Romanchenko

In article it is offered to consider the private decision of a problem on stability it is longitudinal the compressed cylindrical cover, assuming symmetric concerning an axis the form of loss of stability.

Предложено рассмотреть частное решение задачи об устойчивости продольно сжатой цилиндрической оболочки, предполагая осесимметричную форму потери устойчивости.

Рассмотрим круговую цилиндрическую оболочку [1], которая подвергается сжатию продольными силами интенсивности T , равномерно распределёнными по торцам оболочки. Радиус оболочки R , длина l , торцы считаем шарнирно закреплёнными. Обозначим w радиальные перемещения оболочки, связанные с потерей устойчивости. Предполагаем, что форма потери устойчивости осесимметричная. Поэтому считаем $w = w(x)$ и условия равновесия элемента изогнутой оболочки можно трактовать как условия равновесия элемента балки, на которой действуют в поперечном направлении сила $T w_{xx} dx$, вызванная искривлением образующей средней поверхности оболочки, и сила $Eh w / R^2 dx$, вызванная наличием поперечных усилий в меридиональных сечениях оболочки. Учет этих сил приводит к дифференциальному уравнению равновесия возможного осесимметричного состояния оболочки

$$w^{IV} + \frac{T}{D} w'' + \frac{Eh}{(DR^2)} w = 0, \tag{1}$$

которое надо решать при граничных условиях

$$w|_{x=0} = 0; w''|_{x=0} = 0; w|_{x=l} = 0; w''|_{x=l} = 0. \tag{2}$$

Пологая $w = c \sin(\pi x / l)$, удовлетворяем граничным условиям дифференциальному уравнению неустойчивости, если

$$\left(\frac{n\pi}{l}\right)^4 - \frac{T}{D} \left(\frac{n\pi}{l}\right)^2 + \frac{Eh}{DR^2} = 0, \tag{3}$$

Отсюда находим возможную зависимость $T = f(n)$

$$T = \frac{D}{\lambda^2} + \frac{Eh\lambda^2}{R^2}; \tag{4}$$

$$\lambda^2 = \left[\frac{l}{n\pi}\right]^2. \tag{5}$$

Легко найти значение параметра

$$\lambda^2 = \frac{Rh}{2\sqrt{3(1-\nu^2)}}. \tag{6}$$

Обеспечивающего минимальную критическую нагрузку на цилиндрическую оболочку

$$T_{кр} = [3(1-\nu^2)]^{-0.5} Eh \left(\frac{h}{R} \right), \quad (7)$$

Приведенная постановка задачи устойчивости цилиндрической оболочки и результат (7) определения критических сжимающих сил показывает необходимость усовершенствования, уточнения приведенной постановки задачи, что обосновывается явными отклонениями рекомендаций (7) и экспериментальных данных.

Сжимаемые цилиндрические оболочки часто теряют устойчивость при гораздо меньших нагрузках, чем вычисляемые по формуле (7). Этот факт можно объяснить как несовершенством теории расчета критических нагрузок на оболочку, так и несовершенствами экспериментальных образцов оболочки: отклонениями формы, размеров, свойств материала, реализации граничных условий. Критическую нагрузку на оболочку, вычисленную по простейшей схеме, приводящей к формуле (7), называют верхней критической нагрузкой. Разумеется, имеется и нижняя критическая нагрузка, установить которую можно только с позиций нелинейной теории оболочек. Решение уравнений нелинейной теории проводится с привлечением одного из приближенных методов и позволяет установить соотношение между нагрузкой и максимальным прогибом средней поверхности оболочки. Это соотношение имеет вид, представленный на рисунке.

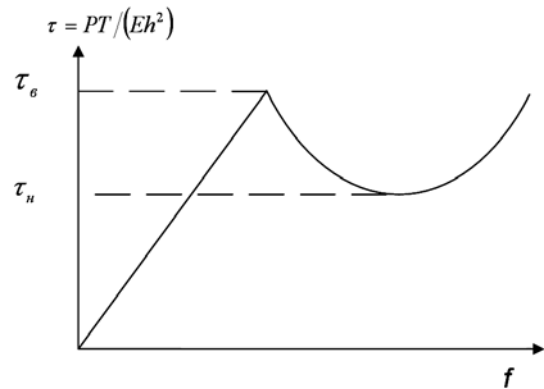


Рисунок – Зависимость изменения величины поперечных смещений f от изменения сжимающих усилий τ

По мере увеличения сжимающих усилий τ сначала растут поперечные смещения f приблизительно по линейному закону. Затем на поверхности оболочки образуются регулярно расположенные вмятины, ромбовидные по очертанию внешних границ. При этом обнаруживается рост прогибов даже при снижении сжимающей нагрузки. Оболочка теряет устойчивость прощелкиванием. При монотонном увеличении сжимающей нагрузки достигается верхнее критическое значение $\tau_g \cong 0,6$, а затем после прохождения ряда неустойчивых состояний обнаруживается равновесное устойчивое состояние, соответствующее нижнему критическому значению нагрузки $\tau_n \cong 0,18$. Конечно, закритические состояния равновесия теоретически можно предсказать лишь на основе достаточно корректной нелинейной теории.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Романченко, М.К. Осесимметричные деформации цилиндрической оболочки / М.К. Романченко // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№2. -С. 175-178.
 КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: состояние равновесия, поперечные смещения, поверхность цилиндрической оболочки
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Романченко Михаил Константинович, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ НЕСТАНДАРТНЫХ ПРЕДЕЛОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.Г. Куделин, В.И. Фомин

CALCULATION OF SOME NON-STANDARD LIMITS
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 O.G. Kudelin, V.I. Fomin

In given article the non-standard way of calculation of some limits in which basis representation of not own integral limiting Riemannian the sum on an unlimited segment lays is offered.

Предложен нестандартный способ вычисления некоторых пределов, в основе которого лежит представление несобственного интеграла предельной римановой суммой на неограниченном сегменте.

Пусть требуется вычислить значение следующего предела

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^n)]. \quad (1)$$

С этой целью воспользуемся значением известного несобственного интеграла первого рода [1]

$$I = \int_0^{+\infty} \exp(-x^2) dx = \frac{\sqrt{\pi}}{2}. \quad (2)$$

Поскольку

$$\ln t = \ln(1 - (1-t)) = -(1-t) + o(1-t),$$

при $t \rightarrow 1-0$, так что

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} \frac{-\ln t}{1-t} = 1, \quad (3)$$

Исходя из представления несобственного интеграла (2) предельной римановой суммой на неограниченном сегменте, а также представления (3), получим

$$I = \lim_{h \rightarrow +0} h \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-(n \cdot h)^2] = \lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-(n \cdot (-\ln t))^2] = \lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^n)]. \quad (4)$$

Согласно (4) и (2), искомый предел равен

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^n)] = \frac{\sqrt{\pi}}{2},$$

следовательно,

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^n)] = \frac{\sqrt{\pi}}{2}.$$

Полученный результат позволил вывести ряд следствий связанных с вычислением нестандартных пределов, из которых здесь приводятся лишь некоторые.

Следствие 1. Аналогично вычисляется значение следующего предела

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/a})]. \quad (5)$$

Используя результат вычисления несобственного интеграла

$$U = \int_0^{+\infty} \exp\left[-\left(\frac{x}{a}\right)^2\right] dx = a \frac{\sqrt{\pi}}{2}; \quad a \in R, \quad (6)$$

представления (3), получим

$$U = \lim_{h \rightarrow +0} h \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{n \cdot h}{a}\right)^2\right] = \lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp\left[-\left(\frac{n}{a}(-\ln t)\right)^2\right] = \lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/a})].$$

Согласно (5), искомый предел

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/a})] = a \frac{\sqrt{\pi}}{2},$$

следовательно,

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/a})] = a \frac{\sqrt{\pi}}{2}.$$

Следствие 2. Аналогично вычисляется значение следующего предела

$$\lim_{t \rightarrow 1} \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]}. \quad (7)$$

Так как

$$\frac{\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b_1})]}{\lim_{t \rightarrow 1-0} (1-t) \sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c_1})]} = \lim_{t \rightarrow 1-0} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b_1})]}{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c_1})]} = \frac{\int_0^{+\infty} \exp\left[-\left(\frac{x}{b}\right)^2\right] dx}{\int_0^{+\infty} \exp\left[-\left(\frac{x}{c}\right)^2\right] dx} = \frac{b}{c}; \quad (b, c) \in R^2, b \neq 0, c \neq 0,$$

при этом учитывая непрерывность функции

$$\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/s})]; \quad \forall s (s \neq 0) \in R,$$

при $t \rightarrow 1$, имеем

$$\lim_{t \rightarrow 1-0} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]} = \lim_{t \rightarrow 1+0} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]} = \lim_{t \rightarrow 1} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]} . \quad (8)$$

Используя результат вычисления несобственного интеграла (6), с учётом (8), получаем

$$\lim_{t \rightarrow 1} \frac{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=1}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]} = \frac{b}{c} ,$$

следовательно, и значение искомого предела равно

$$\lim_{t \rightarrow 1} \frac{\sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/b})]}{\sum_{n=0}^{\infty} \exp[-\ln^2(t^{n/c})]} = \frac{b}{c} .$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фихтенгольц, Г.М. Курс дифференциального и интегрального исчисления. Т.1 / Г.М. Фихтенгольц. -М.: Изд-во физ-мат. лит., 1962. -440 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *несобственный интеграл, предельная риманова сумма, неограниченный сегмент, предел*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавТ»*
Фомин Василий Иванович, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГавТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»*

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕСОБСТВЕННОГО ИНТЕГРАЛА Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Фомин, О.Г. Куделин

CALCULATION OF NOT OWN N.I. LOBACHEVSKS INTEGRAL
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 V.I. Fomin, O.G. Kudelin

In given article calculation of one not own integral of the second sort, and also some consequences of the received result is offered.

Предложено вычисление одного несобственного интеграла второго рода, а также некоторых следствий полученного результата.

Рассмотрим несобственный интеграл второго рода

$$I = \int_0^{\pi/2} \ln(\sin x) dx . \quad (1)$$

Вычислим интеграл (1), разделив отрезок интегрирования на две равные части

$$I = \int_0^{\pi/2} \ln(\sin x) dx = \int_0^{\pi/4} \ln(\sin x) dx + \int_{\pi/4}^{\pi/2} \ln(\sin x) dx . \quad (2)$$

Полагая во втором слагаемом (2)

$$x = (\pi/2) - t ,$$

так что $\sin x = \cos t ; dx = -dt ; \pi/4 \mapsto \pi/4 ; \pi/2 \mapsto 0 ,$

получим

$$\begin{aligned} I &= \int_0^{\pi/4} \ln(\sin x) dx + \int_0^{\pi/4} \ln(\cos x) dx = \int_0^{\pi/4} \ln(\sin x \cdot \cos x) dx = \int_0^{\pi/4} \ln\left(\frac{1}{2} \sin 2x\right) dx = \\ &= \int_0^{\pi/4} \ln(\sin 2x) dx - \ln 2 \cdot x \Big|_0^{\pi/4} = \int_0^{\pi/4} \ln(\sin 2x) dx - (\pi/4) \ln 2 . \end{aligned} \quad (3)$$

Полагая в первом слагаемом правой части равенства (3)

$$2x = t,$$

так что $x = \frac{1}{2}t$; $dx = \frac{1}{2}dt$; $0 \mapsto 0$; $\pi/4 \mapsto \pi/2$,

получим $I = \frac{1}{2} \int_0^{\pi/2} \ln(\sin x) dx - \frac{\pi}{4} \ln 2 = \frac{1}{2}I - \frac{\pi}{4} \ln 2$,

откуда следует, что искомым интеграл

$$I = -\frac{\pi}{2} \ln 2. \quad (4)$$

Полученный результат позволил вывести свыше ста следствий связанных с вычислением несобственных интегралов и суммированием некоторых числовых рядов, из которых здесь приводятся лишь некоторые.

Следствие 1. Полагая в (1)

$$t = \operatorname{tg}\left(\frac{x}{2}\right),$$

так что $x = 2 \operatorname{arctg}(t)$; $dx = \frac{2}{1+t^2} dt$; $\sin(x) = \frac{2t}{1+t^2}$; $0 \mapsto 0$; $\pi/2 \mapsto 1$,

поэтому формула (1) переписывается в виде

$$I = 2 \int_0^1 \ln \frac{2t}{1+t^2} \cdot \frac{dt}{1+t^2} = -\frac{\pi}{2} \ln 2,$$

откуда после деления обеих частей на два получим

$$\ln 2 \int_0^1 \frac{dt}{1+t^2} + \int_0^1 \frac{\ln(t) dt}{1+t^2} - \int_0^1 \frac{\ln(1+t^2) dt}{1+t^2} = \frac{\pi}{4} \ln 2 + \sum_{n=0}^{+\infty} (-1)^n \int_0^1 t^{2n} \ln(t) dt - \int_0^1 \frac{\ln(1+t^2) dt}{1+t^2} = -\frac{\pi}{4} \ln 2. \quad (5)$$

Интеграл

$$I_n = \int_0^1 t^{2n} \ln(t) dt,$$

вычислим, используя правило интегрирования по частям, полагая

$$u = \ln(t); \quad du = \frac{dt}{t}; \quad dv = t^{2n} dt; \quad v = \frac{t^{2n+1}}{2n+1},$$

откуда следует, что

$$I_n = \frac{t^{2n+1}}{2n+1} \cdot \ln(t) \Big|_0^1 - \frac{1}{2n+1} \int_0^1 t^{2n} dt = -\frac{1}{(2n+1)^2}. \quad (6)$$

После подстановки выражения (6) в левую часть равенства (5), согласно [1], найдем, что

$$\frac{\pi}{4} \ln 2 - \sum_{n=0}^{+\infty} (-1)^n \frac{1}{(2n+1)^2} - \int_0^1 \frac{\ln(1+t^2)}{1+t^2} dt = \frac{\pi}{4} \ln 2 - G - \int_0^1 \frac{\ln(1+t^2)}{1+t^2} dt = -\frac{\pi}{4} \ln 2,$$

откуда следует выражение для определённого интеграла

$$\int_0^1 \frac{\ln(1+t^2)}{1+t^2} dt = \frac{\pi}{2} \ln 2 - G, \quad (7)$$

где, согласно [1],

$$G = \int_0^1 \frac{\operatorname{arctg} x}{x} dx = 0.9159656.$$

Следствие 2. Полагая в (7)

$$t = \operatorname{tg}(\varphi),$$

так что $\varphi = 2 \operatorname{arctg}(t)$; $d\varphi = \frac{dt}{1+t^2}$; $1+t^2 = \frac{1}{\cos^2 \varphi}$; $0 \mapsto 0$; $1 \mapsto \pi/4$,

поэтому формула (7) переписывается в виде

$$\int_0^{\pi/4} \ln(\cos \varphi) d\varphi = \frac{1}{2} G - \frac{\pi}{4} \ln 2. \quad (8)$$

Следствие 3. Полагая в (8)

$$\varphi = (\pi/2) - \theta,$$

так что $\cos \varphi = \sin \theta$; $d\varphi = -d\theta$; $0 \mapsto \pi/2$; $\pi/4 \mapsto \pi/4$,

получим
$$\int_{\pi/4}^{\pi/2} \ln(\sin \theta) d\theta = \frac{1}{2}G - \frac{\pi}{4} \ln 2, \quad (9)$$

откуда, согласно (4) и (9), найдём

$$\int_0^{\pi/4} \ln(\sin \theta) d\theta = \int_0^{\pi/2} \ln(\sin \theta) d\theta - \int_{\pi/4}^{\pi/2} \ln(\sin \theta) d\theta = -\frac{\pi}{2} \ln 2 - \frac{1}{2}G + \frac{\pi}{4} \ln 2 = -\frac{\pi}{4} \ln 2 - \frac{1}{2}G. \quad (10)$$

Следствие 4. После почленного вычитания равенств (10) и (8) ввиду тождества

$$\ln x - \ln y = \ln \frac{x}{y},$$

получим
$$\int_0^{\pi/4} \ln(\operatorname{tg} \theta) d\theta = -G.$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Смирнов, В.И. Курс высшей математики. Т.2. / В.И. Смирнов. -М.: Гл. изд-во техн. лит., 1956. -415 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: несобственный интеграл

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомин Василий Иванович, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКОГО ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

ACCOUNT STATIC PULL EFFORT OF ELECTROMAGNETS IN ELECTROMAGNETIC HYDRAULIC VIBROISOLATED SUPPORT

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The account static pull effort of electromagnets in electromagnetic hydraulic vibroisolated support is stated.

Изложен расчет статического тягового усилия электромагнитов в электромагнитной гидравлической опоре, что играет определяющую роль для вывода уравнений, описывающих динамические процессы магнитной цепи электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры.

Для глубокого рассмотрения процессов, происходящих в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре [1], необходимо рассмотреть статическое тяговое усилие электромагнитов.

Статическая тяговая характеристика в осях F_{Σ} и δ определяется конструкцией и свойствами материалов магнитной цепи, обмоточными данными катушки, величиной и родом тока, температурой электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре [2, 3].

Целесообразно рассматривать расчет тягового усилия электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре для двух диапазонов изменения хода якоря [2].

1 *Определение силы в первом диапазоне изменения рабочего зазора в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре ($\delta_r \leq \delta < l_k$).* При больших рабочих зазорах в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре сила тяги определяется потоками, текущими по воздуху из якоря в ярмо, и является результатом взаимодействия тока обмотки и радиальной составляющей магнитной индукции. Так как взаимодействием якоря и фланца мы пренебрегаем, согласно [2]

$$F_{\Sigma} = S_1 \left(fB_{10} - \frac{1}{2} \mu_0 f^2 - \int_0^{B_{10}} H_{10} dB \right). \quad (1)$$

Исходя из формулы для \bar{f} , приведенной в [4] после преобразований в относительных величинах, получим

$$F_{\text{э}} = \frac{\pi r_1^2 B_6^2}{\mu_0} \cdot 0,85 \bar{B}_{10} \left(\frac{\bar{B}_{10} - \bar{r}^2 \bar{H}_0}{\bar{a}_1 + \frac{1}{2}(\bar{a}_2 r^2 + \bar{r}^2)} + \bar{H}_0 \right), \quad (2)$$

где 0,85 – коэффициент, учитывающий влияние последних двух слагаемых в (1).

Из анализа выражения (2) следует, что при сильном насыщении удельная намагничивающая сила $\bar{f} \approx \bar{H}_0$. При $\bar{f} \approx \bar{H}_0$ (2) превращается в известную формулу [5]

$$F_{\text{э}} = 0,85 \Phi_0 H_0.$$

Ранее было показано [4], что поток рассеяния уменьшается при увеличении степени насыщения якоря, следовательно, должна уменьшаться соответствующая составляющая силы тяги. На рисунке 1 приведен график зависимости силы тяги от индукции якоря в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре.

Тяговое усилие выражено в процентах от всей величины. Видно, что с увеличением индукции B_{10} значение силы уменьшается. При небольшом насыщении стали ($B_{10} = 0-1,6$ Тл) сила, вызванная потоком рассеяния, составляет 70% общей величины, при $B_{10} = 2,4$ Тл равна 50%, при $B_{10} > 2,4$ Тл, резко уменьшаясь, стремится к нулю. Это означает, что при сильном насыщении сила тяги обуславливается главным образом магнитным потоком, текущим с торца якоря к ярму в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре.

На основе энергетической формулы для тягового усилия ненасыщенного электромагнита и из выражения для индуктивности [2, 4] получим выражение силы тяги ненасыщенного электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре в первом диапазоне, где на большей части хода якоря тяговое усилие будет определяться потоками рассеяния

$$F_{\text{э}} = 0,68 i^2 \mu_0 r_1 w^2 \left(\frac{3,08}{l_k^2} (h + r_1) + \frac{2h^2}{l_k^2 r_1 \ln \frac{r_2}{r_1}} + \frac{2,2r_2}{l_k^2} \left\{ 1 - \exp \left[-\frac{0,7}{r_2} (l_k - h) \right] - \frac{0,7}{r_2} (h + 2r_1) \exp \left[-\frac{0,7}{r_2} (l_k - h) \right] \right\} \right).$$

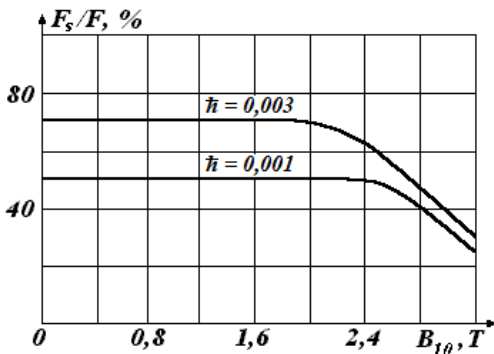


Рисунок 1 – Зависимость силы тяги, обусловленной магнитным потоком, текущим с боковой поверхности якоря, от индукции якоря, полученная с использованием электромагнитных гидравлических виброизолирующих опор при виброизоляции дизеля марки 6ЧНСП18/22

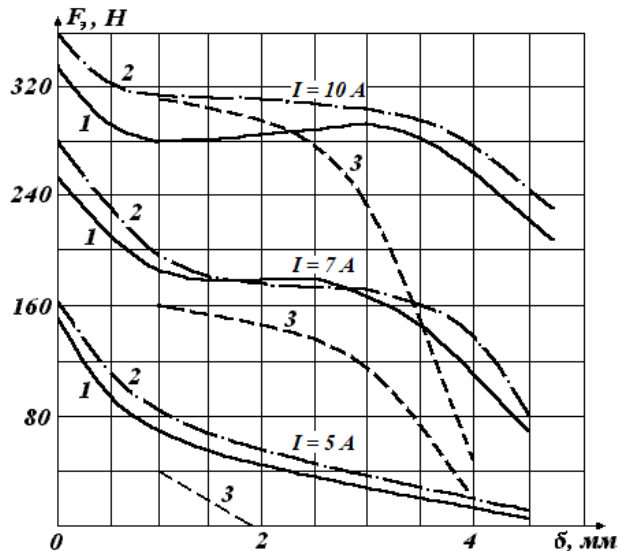


Рисунок 2 – Сила тяги на всем диапазоне изменения воздушного зазора в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре при виброизоляции дизеля марки 6ЧНСП18/22: 1-экспериментальная кривая; 2-рассчитанная авторами; 3-расчетная по [3]

2 Расчет силы во втором диапазоне изменения рабочего зазора в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре ($0 < \delta \leq \delta_r$). Тяговое усилие рассматриваем в виде суммы трех составляющих

$$\bar{F}_{\text{э}} = \bar{F}_1 + \bar{F}_2 + \bar{F}_3, \quad (3)$$

где $\bar{F}_1, \bar{F}_2, \bar{F}_3$ – силы, обусловленные соответственно потоками рассеяния, притяжением яко-

ря и фланца, изменением длины намагниченной части якоря и пространства перед ним,

$$\bar{F}_1 = \bar{\varphi} \bar{f} (\bar{a}_1'' - \bar{a}_1'); \bar{F}_2 = \frac{1}{2} \bar{\varphi}^2 \bar{a}_2''^2 \frac{d\bar{G}_2}{d\delta_2}; \bar{F}_3 = \frac{1}{2} \bar{f}^2 - \int_0^{\bar{B}_1} \bar{H}_1 d\bar{B}_3.$$

Окончательно получим

$$\bar{F}_3 = \bar{\varphi} \bar{f} (\bar{a}_1'' - \bar{a}_1') + \frac{1}{2} \bar{\varphi}^2 \bar{a}_2''^2 \frac{d\bar{G}_2}{d\delta_2} + \frac{1}{2} \bar{f}^2 - \mu_0 \left(\frac{1}{2} \alpha \bar{B}_1^2 + \frac{1}{6} \beta \bar{B}_6^4 \bar{B}_1^6 + \frac{1}{10} \xi \bar{B}_6^8 \bar{B}_1^{10} \right), \quad (4)$$

где

$$\bar{B}_1 = \bar{B}_{10} - \bar{\varphi} \bar{a}_1'.$$

По приведенным формулам при малых и больших зазорах было рассчитано семейство зависимостей силы тяги от рабочего зазора при неизменном токе (рисунок 2, кривые 2) для электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре, параметры которого приведены в [1].

Из рисунка 2 видно, что данные расчета (кривые 2) удовлетворительно совпадают с экспериментальными (кривые 1), полученные с использованием электромагнитных гидравлических виброизолирующих опор при виброизоляции дизеля марки 6ЧНСП18/22. Максимальная погрешность не превышает 20%. Данные расчета по формуле [3] (кривые 3) удовлетворительно совпадают с экспериментальными лишь при сильном насыщении.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фомичев, П.А. Гидравлические виброизолирующие опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева: науч. изд. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.

2 Буль, Б.К. Основы теории расчета магнитных цепей / Б.К. Буль. -М.: Энергия, 1964. - 464 с.

3 Гордон, А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. -М.: Госэнергоиздат, 1960. -446 с.

4 Фомичев, П.А. Расчет насыщенной магнитной цепи при высокой амплитуде колебаний электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева, В.И. Фомин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2005. -№1-2. -С. 127-134.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: расчет статического тягового усилия электромагнитов в электромагнитной гидравлической опоре

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЙ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

DEFINITION OF RATIO OF THE BASIC GEOMETRICAL PARAMETERS OF ELECTROMAGNETS IN ELECTROMAGNETIC HYDRAULIC VIBROISOLATED SUPPORT

«Novosibirsk state academy of water transport»

P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The account of ratio of the basic geometrical parameters of electromagnets is stated, that plays a determining role at rational designing electromagnetic hydraulic vibroisolated support.

Изложен расчет соотношений основных геометрических параметров электромагнитов, что играет определяющую роль при рациональном проектировании электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры.

Создание электромагнитных гидравлических виброизолирующих опор использующих электромагниты втяжного типа, работающих на потоках рассеяния, выдвигает задачу их рационального проектирования. Рекомендуемые при расчете этих электромагнитов соотношения между основными размерами [1] не позволяют судить о степени рационального исполь-

зования активных материалов, что очень важно для электромагнитов с большой интегральной работой. В [2] обоснованы оптимальные соотношения между основными размерами силовых электромагнитов, работающих на потоках рассеяния, исходя из максимума критерия «отношение интегральной механической работы электромагнита к объему его активных материалов», и разработана методика предварительного расчета электромагнита по заданной интегральной работе.

Так как для начального и конечного положений якоря электромагнит симметричен относительно нейтрали, расчет проведен для одной половины магнитопровода (рисунок 1) при следующих допущениях: сечение стали вдоль длины магнитопровода постоянно; ток в обмотке во время движения якоря остается неизменным; полем выпучивания пренебрегаем; в расчете учитываем магнитное сопротивление только одного паразитного воздушного зазора «якорь-полюс».

Значение зазора задается отношением

$$K = \Delta / r_1, \quad (1)$$

где Δ – нерабочий зазор.

Интегральную работу, пропорциональную площади, ограниченной кривыми $\Psi = f(i)$, построенными для двух крайних положений якоря, и прямой установившегося значения тока i , выразим через электрические и магнитные параметры электромагнита.

Получим:

$$i_1 = \frac{1}{w} B_1 r_1 \left[\frac{2y}{\mu_1} + \frac{\ln(1+k)}{\mu_0(1+a)} \right], \quad (2)$$

$$\Psi_1 = WB_1 \pi r_1^2 \frac{1 + \frac{2}{3}a}{1+a}, \quad (3)$$

где $r_3 = r_1 + \Delta$; $a = \frac{y}{\ln x} \cdot \ln(1+K)$;

h_n – толщина полюса,

$$h_n = 0,5r_1;$$

$$i_2 = \frac{1}{w} B_1 r_1 \left[\frac{2y}{\mu_2} \left(1 - \frac{B_H}{B_1} \right) + \frac{\ln(1+K)}{\mu_0} + \frac{2y}{\mu_2} a \right]; \quad (4)$$

$$\Psi_2 = wB_1 \pi r_1^2 \left(1 + \frac{2}{3}a \right). \quad (5)$$

При втянутом положении якоря в катушку электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры зависимость $\Psi_1(i)$ изобразится ломаной линией (рисунок 2), состоящей из двух отрезков

При $0 \leq \Psi \leq \Psi_1$

$$\Psi_1 = L_1 i,$$

где Ψ_1 – потокосцепление электромагнита при максимальной индукции магнитопровода

$$B_{\max} = B_1.$$

Для $\Psi \geq \Psi_1$

$$\Psi = \Psi_1 + L_\Phi (i - i_1),$$

где L_Φ – фиктивная индуктивность,

$$L_\Phi = \frac{\Psi_2 - \Psi_1}{i_2 - i_1}.$$

Для непритянутого положения якоря в катушку электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры зависимость $\Psi(i)$ изобразится прямой линией $\Psi_{II}(i)$ (см. рисунок 2)

$$\Psi_{II} = L_0 i,$$

где

$$L_0 = \frac{w^2 \mu_0 S}{l}.$$

Интегральную механическую работу электромагнита в электромагнитной гидравличе-

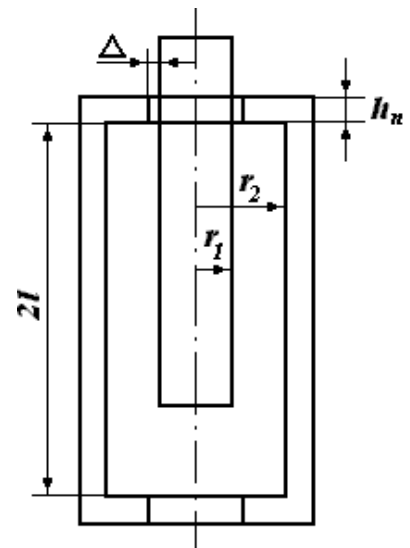


Рисунок 1 – Расчетная схема электромагнита, используемого в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре

ской виброизолирующей опоре, см. рисунок 2, можно представить разностью

$$\frac{1}{2}A_{и} = A_I - A_{II}, \quad (6)$$

где A_I, A_{II} – магнитные энергии, соответствующие начальному и конечному положениям якоря [3].

Выразив магнитные энергии, получим, что отношение

$$\frac{A_{и}}{V} = \frac{A_I - A_{II}}{V},$$

имеет вид

$$\Gamma = \frac{\frac{1}{2}B_1^2 \frac{1+\frac{2}{3}a}{1+a} \left[\frac{2y}{\mu_1 + \frac{\ln(1+K)}{\mu_0}} \right] + \frac{1}{2}\xi \cdot 10^6 (mb\sqrt{r_1} - C)^2 + 10^3 B_1 (mb\sqrt{r_1} - C) \frac{1+\frac{2}{3}a}{1+a} - 0,63 \frac{(xmb)^2}{y} r_1}{(y+0,5)(x^2+1)}, \quad (7)$$

где V_M, V_C – соответственно, объем меди и стали электромагнита,

$$V = V_M + V_C = \pi r_1^3 (x^2 + 1)(y + 0,5).$$

Из анализа (7) следует, что отношение интегральной механической работы $A_{и}$ к объему активных материалов V электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре максимально при $r_2/r_1 = x = 1-10$ ($y = \text{Const}, A_{и} = \text{Const}$). Отношение $\Gamma = A_{и}/V$ максимально при $l/r_1 = y = 4-6$ ($x = \text{Const}, A_{и} = \text{Const}$). Отношение $\Gamma = A_{и}/V$ увеличивается с возрастанием радиуса центрального штока с поршнем. Это означает, что более мощные электромагниты обладают большей энергией на единицу объема.

Кривые зависимости сечения провода $S_{ПР}$ и количества витков ω в функции y (рисунок 3) рассчитаны для электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре с теми же исходными данными.

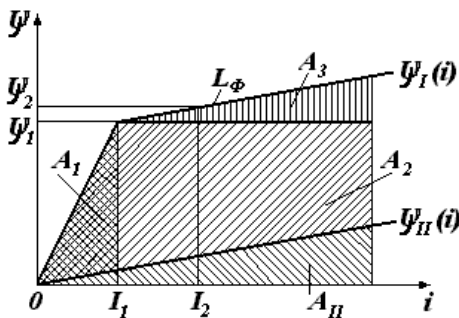


Рисунок 2 – Зависимость потокоцепления от тока, принятая для расчета параметров электромагнитов в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре

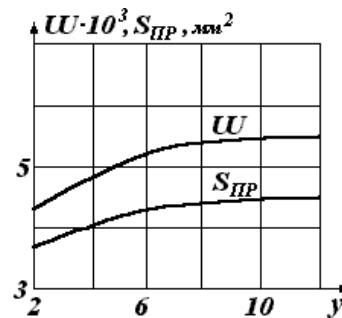


Рисунок 3 – Зависимость сечения провода и количества витков электромагнита в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре от l/r_1

С увеличением y возрастает сечение провода и количество витков системы с данной интегральной работой. Поэтому с целью получения минимального общего объема активных материалов значения y следует выбирать по рисунку 3, а для снижения объема меди – в пределах $y = 2-4$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Давыдов, В.В. Динамические расчеты прочности судовых конструкций / В.В. Давыдов, Н.В. Маттес. -Л.: Судостроение, 1974. -336 с.
- 2 Фомичев, П.А. Гидравлические виброизолирующие опоры нового поколения: науч. изд. / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
- 3 Засядко, А.А. Принципы построения активных виброзащитных систем с электрогидравлическими связями / А.А. Засядко, С.В. Елисеев // Тр. Иркут. политехн. ин-та. -1972. - Вып.79. -С. 18-29.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: параметры электромагнитов в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»; Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГавт»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА РЕДУКТОРА НА РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ДВИЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.В. Бирюков, А.А. Осьмук

THE INFLUENCE OF GEAR TRANSFER NUMBER ON POWER CONSUMPTION TO VEHICLE MOVEMENT
 «Novosibirsk state technical university»
 V.V. Biryukov, A.A. Osmuk

The question of influence of a vehicle traction gear transfer number on specific power consumption to electric vehicle movement.

Рассмотрен вопрос влияния передаточного числа редуктора тяговой передачи подвижного состава на удельный расход энергии на движение электроподвижного состава.

При движении подвижного состава по перегону энергия, потребляемая им от источника питания на движение, расходуется на преодоление внешних и внутренних сил сопротивления [1, 2]. Одной из составляющих этих потерь являются потери в редукторе тяговой передачи, обусловленными, как известно, наличием сил трения в зубчатом зацеплении, подшипниках и т.д., которые и определяют его КПД. Увеличение передаточного числа редуктора приводит к необходимости изменения его кинематической схемы (количества ступеней, типа зубчатого зацепления и т.д.), что влечёт за собой уменьшение его КПД. Однако, даже при сохранении кинематической схемы редуктора изменение его передаточного числа влияет на расход энергии, что вызывается главным образом изменением режима движения транспортного средства. В связи с этим авторами были проведены исследования влияния изменения передаточного числа редуктора на удельный расход энергии на движение на примере подвижного состава метрополитена с тяговым двигателем ДК117А.

Для исключения влияния различных факторов на результаты исследований были приняты следующие допущения:

- кинематическая схема редуктора неизменна (применяется одноступенчатый редуктор с прямым зубным зацеплением);
- диаметр колёс при изменении передаточного числа редуктора сохраняется;
- длина перегона неизменна и равна стандартному;
- режим движения классический (пуск-выбег-торможение);
- напряжение питания неизменно и равно номинальному значению.

Поскольку изменение величины передаточного числа редуктора $\mu_{ред}$ ограничено, с одной стороны, предельно допустимыми габаритными размерами, а с другой – прочностными характеристиками материала зубьев, изменение его значения от существующего $\mu_{ред} = 5,33$ в меньшую сторону составило $\mu_{ред} = 4$, а в большую – $\mu_{ред} = 6,33$.

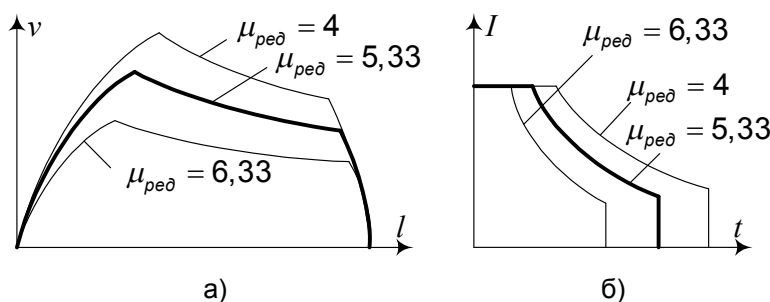


Рисунок 1 – Кривые движения (а) и потребления тока (б) подвижным составом

Исследования основывались на построении кривых движения и потребления тока подвижным составом графо-аналитическим способом [1]. Для построения кривых использовались характеристики удельных сил тяги и торможения двигателя. Вследствие того, что характеристики существующего тягового привода вагона метрополитена приводятся для передаточного числа $\mu_{ред} = 5,33$, был произведён пересчёт их для принятых значений $\mu_{ред}$.

На рисунке 1 приведены кривые движения (рисунок 1а) и потребляемого при этом тока

(рисунок 1б), в соответствии с которыми следует сделать вывод о том, при классической схеме движения увеличение передаточного числа редуктора приводит к снижению потребления энергии.

Действительно, если предположить, что напряжение питания постоянно, а в соответствии с [1] расход энергии пропорционален площади фигуры ограниченной кривой потребления тока и координатными осями (см. рисунок 1б), то потребление энергии при различных величинах $\mu_{ред}$ можно определить по площадям фигур, ограниченными соответствующими кривыми. При этом удельный расход энергии при движении на стандартном перегоне по классической схеме с увеличением передаточного числа редуктора снижается (рисунок 2).

В соответствии с кривыми движения (см. рисунок 1а) увеличение передаточного числа редуктора приводит к снижению средней скорости на перегоне $v_{пер}$, что недопустимо по соображениям сохранения его пропускной способности. Поддержание средней скорости движения при уменьшении передаточного числа достигается сокращением времени движения под током, а при повышении – его увеличением. Если увеличение передаточного числа редуктора значительно, то в кривой движения может даже отсутствовать стадия выбега.

Расчеты кривых движения, проведённые для стандартного перегона при выбранных значениях передаточных чисел редуктора в условиях сохранения средней скорости движения по нему, показали, что расход энергии на движение с увеличением передаточного числа растёт. Характер зависимости удельного расхода энергии в функции передаточного числа редуктора показан на рисунке 2 (см. кривую при $v_{пер} = \text{Const}$).

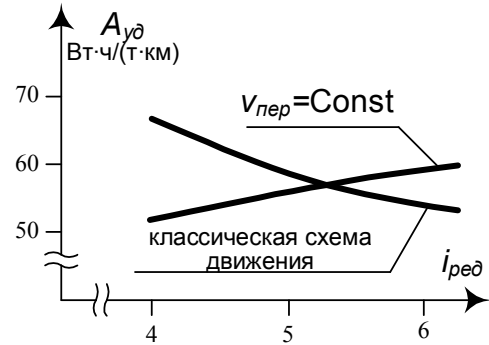


Рисунок 2 – Кривая удельного расхода энергии на движение

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги: учеб. для вузов ж.-д. трансп. -2-е изд., перераб и доп. / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров. -М.: Транспорт, 1983. -328 с.
 2 Бирюков, В.В. Энергосбережение на электрическом транспорте: монография / В.В. Бирюков. -Иркутск: Изд-во Иркут. гос. техн. ун-т, 2009. -244 с.
 КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: передаточное число редуктора, потребление энергии, подвижной состав метрополитена
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бирюков Валерий Викторович, канд., техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
 Осьмук Артём Александрович, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВИНТАМИ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА НА СУДАХ РЕЧНОГО ФЛОТА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Мартынов

ABOUT POSSIBLE USING PROPELLER PITCHES AT DIESEL POWER PLANTS ON RIVER SHIPS
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 A.A. Martynov

The experience of applying and projects of using propeller pitches of diesel power plants nowadays have considered.

Рассмотрены опыт применения и перспективы использования на современном этапе гребных винтов регулируемого шага в судовых дизельных энергетических установках.

В настоящее время большое внимание уделяется вопросам оптимального энергоиспользования в судовых энергетических установках речного транспортного флота. В этом отношении большим неиспользованным резервом [1] является применение винтов регулируемого шага (ВРШ).

Если в 60-70 гг. прошлого века попытки применения ВРШ еще предпринимались, то в последствии несмотря на обнадеживающие перспективы от них отказались и в первую оче-

редь из-за ограниченных диаметров винта (около 1,5 м). Главной причиной недооценки перспектив явились не слишком высокие в ту пору востребованность такого решения, а также сложность и ненадёжность механизма изменения шага (МИШ) при его традиционном размещении в ступице ВРШ [2]. Однако в настоящее время ситуация существенно изменилась. Использование ВРШ в судовых энергетических установках судов речного транспортного флота (на судах рыболовецкого флота они применялись давно и широко) открывает новые возможности. К этим возможностям следует отнести применение турбопоршневых двигателей (дизелей с наддувом) с ограниченными полями допустимых режимов (рисунок) практически на любом режиме движения судна можно иметь винтовую характеристику практически совпадающую с экономической (пунктирная линия на рисунке) характеристикой дизеля. Кроме того, дизель-редукторная установка со среднеоборотными двигателями и двигателями повышенной оборотности даёт возможность широкого применения валогенераторов, в том числе и в обратимом варианте на основе частотно-регулируемого управления. Последнее обстоятельство позволяет не только получить гибкую и экономичную в эксплуатации установку, но и унифицировать её с типовым оборудованием.

При всём выше сказанном остаются в силе ранее известные преимущества ВРШ по маневренности установки и т.п.

Что касается технического решения упомянутой проблемы, то в настоящее время появились новые возможности после конверсионного «открытия» предприятий «Винт», «Вега» и др., работающих ранее исключительно на нужды Военно-морского флота. Здесь особенно интересен опыт размещения МИШ не в ступице ВРШ, а на промежуточном валу валовой линии. Тем более, что такой вариант обеспечивает высокую экологическую безопасность связанную с возможностью попаданием рабочей жидкости из гидросистемы в забортную воду. Хорошие перспективы имеет разработка по использованию воды в качестве рабочей гидросмеси МИШ.

Применение ВРШ на судах речного флота в последнее время становится не только весьма желательным, но и попросту необходимым из-за фактического прекращения дноуглубительных работ и при сохраняющейся тенденции увеличения габаритов судов смешанного плавания, когда наличие подруливающих устройств проблему маневренности не решает.

Необходимо заметить, что высказанные соображения находят своё подтверждение в практике отечественного и, главным образом, зарубежного судостроения. Наиболее красноречивым примером тому служит [3] строительство на Онежском судостроительном заводе серии судов проекта 003РСД04 грузоподъёмностью 3800/2500 т (головное судно «Каспийский экспресс»).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кацман, Ф.М. Эксплуатация пропульсивного комплекса морского судна. -М.: Транспорт, 1987. -223 с.
- 2 Ермошкин, Н.Г. Гребные винты регулируемого шага. Устройство и эксплуатация. – Одесса: ЮНМУ, 2004. -143 с.
- 3 Евдокимов, Г.А. Российский и зарубежный флот смешанного плавания // Морской сборник. -2009. -№7. -С. 57-64.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: винт регулируемого шага, валогенератор, управляемость
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Мартынов Александр Анатольевич, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

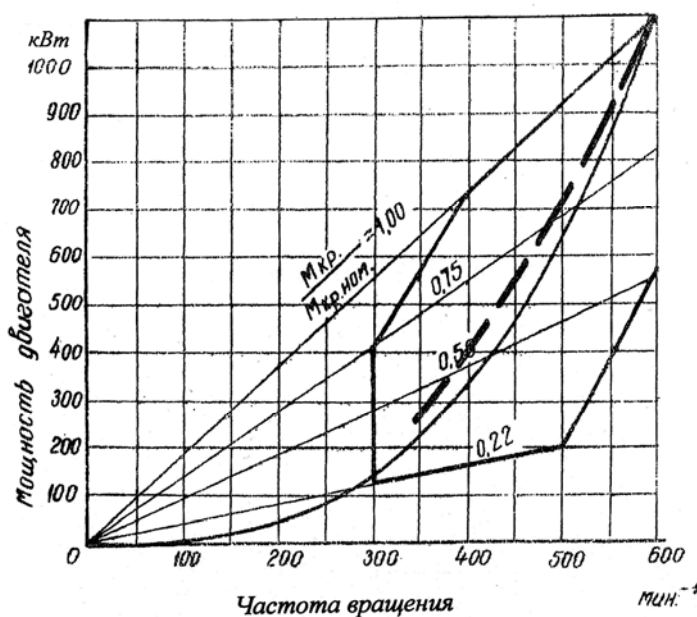


Рисунок – Совмещение характеристик дизеля и ВРШ

СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Зувев

MODE OF THE EFFECTIVE EQUILIBRATION OF SHIP POWER INSTALLATIONS
«Novosibirsk state academy of water transport»
A.A. Zuev

Some modes of an equilibration of ship internal combustion engines are considered.

Рассмотрены некоторые способы уравнивания судовых двигателей внутреннего сгорания.

Обзор существующих решений в области уравнивания судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС), позволяет увидеть пути решения поставленной проблемы. Если выпускаемые судовые энергетические установки не проявляют никакой виброактивности, то проблемы виброизоляции не возникает. Исходя из этого, нужно рассматривать в первую очередь вопросы уравнивания [1, 2]. Посмотрим на современное состояние энергетических установок.

Прежде всего, хочется отметить, что выпускаемые СДВС спроектированы без учета требований идеального уравнивания. Так, центр тяжести ДВС, как правило, расположен выше оси коленчатого вала и не лежит в горизонтальной плоскости, проходящей через ось коленчатого вала. При этом точки крепления опор к двигателю расположены ниже горизонтальной плоскости проходящей через ось коленчатого вала.

Надо не забывать, что упруго подвешенный двигатель совершает колебательные движения вокруг оси проходящей через центр тяжести двигателя, из-за непостоянства угловой скорости коленчатого вала с частотой вспышек в цилиндрах. При этом точки крепления виброизолирующих опор к корпусу двигателя совершают движения по дугам окружностей лежащих в плоскости перпендикулярной к главной центральной оси. В общем случае эти движения носят произвольный пространственный характер с преобладанием максимальных перемещений под углом к вертикали. Поэтому, многие двигатели установлены на резиновых виброизолирующих опорах, выполненных в виде брусков установленных под углом к горизонтальной плоскости с целью снижения жесткости в направлениях максимальных перемещений точек крепления опор к корпусу двигателя.

Перенос центра тяжести двигателя и точек крепления опор в горизонтальную плоскость, проходящую через ось коленчатого вала, позволит существенно уменьшить интенсивность колебаний точек крепления опор и упростить решение задачи виброизоляции. Такой перенос может быть выполнен за счет изменения конструкции рамы и размещением необходимых балластных масс в расчетных точках их крепления на раме. Результатом этих действий должно быть сведение центробежных моментов инерции к нулю.

Помня о том, что основным источником колебаний ДВС является цикличность рабочего процесса, ведущая к неравномерности вращения вращающихся масс, желательно увеличивать момент инерции корпуса двигателя относительно оси коленчатого вала специальными массами, разнесенными на возможно большее расстояние от этой оси, расположенными, например, под сланями. Еще лучше коридоры для обслуживания двигателя выполнить весящими на опорах двигателя и крышках цилиндров. Это решение может быть очень эффективным, так как момент инерции зависит от квадрата расстояния этих дополнительных масс от оси коленчатого вала. Наилучшие результаты может дать установка двигателя, валовой линии и дейдвудного подшипника вместе с насадкой винта на единую раму, подвешенную на корпус судна.

Очевидно, что недостатками данных решений будут высокая стоимость, материалоемкость и сложность.

Исходя из вышесказанного, работы в таком направлении будут очень трудоемкими, и есть смысл рассмотреть проблему снижения виброактивности, начиная с совершенствования конструкции самой энергетической установки.

Первые ДВС имели один цилиндр с тяжелым маховиком и обладали высокой виброактивностью. Пытаясь облегчить и уравновесить ДВС, их стали делать двух и более цилинд-

ровыми. В те времена не было требований к ограничению виброактивности. В середине 20 го века появились труды, посвященные вопросам снижения виброактивности СЭУ. Бурное развитие техники привело к появлению различных конструктивных схем ДВС (рядные, V – образные, звездообразные, оппозитные и др.). Требования к уровням виброактивности постоянно росли, что привело к глубоким исследованиям в области уравнивания ДВС. Так, например, у С.И. Кожевникова [1] представлена расчетная схема шести цилиндрического рядного двигателя, в котором кривошипы заклинены под углом 120° . Показано, что в шести цилиндрическом двигателе остаются неуравновешенными только силы инерции порядков, кратных шести, а силы инерции всех остальных порядков уравновешены. Судя по вышесказанному, порядок снижения виброактивности будет расти бесконечно.

Поставим условие полного уравнивания сил инерции ДВС имеющего любое число цилиндров с произвольным их расположением в пространстве. Рассмотрим одноцилиндровый ДВС. Основным источником его неуравновешенности будем считать поршень. Уравнивание сил инерции поршня противовесами, расположенными на щеках коленчатого вала малоэффективно, так как силы инерции поршня могут быть полностью уравновешены только в одном из крайних положений, при этом в другом крайнем положении поршня сила инерции его другая. Причем следует учесть, что сила инерции противовесов постоянна по величине, и речь о полном уравнивании идти не может. Кроме того, во всех остальных положениях кривошипа сила инерции противовесов уже не параллельна оси цилиндра, и поэтому противовесы являются мощным генератором колебаний.

Проблема уравнивания сил инерции шатуна многократно усложняет задачу уравнивания ДВС. Исходя из вышесказанного, проблема полного уравнивания сил инерции такого механизма представляется невыполнимой.

Рассмотрим другой подход к этой проблеме. Попробуем обеспечивать уравнивание ДВС не противовесами, а взаимным расположением поршней и шатунов. Известны конструкции ДВС с оппозитно расположенными цилиндрами, поршни которых движутся встречно. При таком решении силы инерции поршней уравниваются полностью (если оси цилиндров соосны), в течение всего цикла. Такие конструкции могли бы иметь идеальную уравновешенность, если бы шатуны были невесомыми (например, силовыми полями). То есть в данной ситуации виброактивность ДВС определяется силами инерции шатунов (и моментами от сил инерции шатунов).

Осуществить соосность двух оппозитных цилиндров сложно, но при многоцилиндровой компоновке эта проблема легко решается. Проблема здесь заключается в том, что центр масс шатунов перемещается не только в направлении оси цилиндров, но и в направлении перпендикулярной к этой оси. В этой ситуации силы инерции центров тяжести шатунов составляют пару сил и плечо этой пары сил переменное. Поэтому пара сил изменяется не только по величине, но и по направлению, создавая крутильные колебания корпуса ДВС вокруг оси коленчатого вала. Кроме того, моменты от сил инерции шатунов во вращательном движении вокруг центров масс шатунов тоже переменные (по величине и направлению). Они суммируются и по фазе не совпадают с моментами от сил инерции центров масс шатунов.

Из сказанного ясно, что уравнивание рассмотренных здесь сил инерции в любое время цикла может быть скомпенсировано только синхронным вращением дополнительных кривошипов и шатунов, в противоположном направлении. Так что известные схемы конструкций ДВС далеки от идеала [1]. Наиболее простая схема, отвечающая описанному идеалу, содержит как минимум четыре цилиндра и три коленчатых вала расположенных на одной оси и вращающихся синхронно в противоположных направлениях. Такая схема позволит значительно снизить импульсные нагрузки на коренные подшипники. Число цилиндров может быть взято кратное четырем.

Оппозитные двигатели с горизонтальным расположением цилиндров имеют ряд преимуществ. Самым заметным из них будет такое: двигатель может быть выполнен в виде плиты и может быть настолом в машинном отделении. Кроме того выходной вал такого двигателя может быть расположен низко, что понижает центр тяжести судна и увеличивает остойчивость. Низкое расположение двигателя позволит избежать наклона валовой линии в корму и во многих случаях необходимость в установке редукторов с вертикальными валами отпадает.

Серьезных недостатков в такой компоновке двигателя не просматривается, за исключением необходимости перестройки производства.

Эти задачи еще ждут своего решения. С точки зрения наших последних исследований окончательного решения этой проблемы не видно. Это заключение следует из того, что все циклические машины уравновесить невозможно.

В самом деле, принято считать, что дизель это одно целое тело в колебательных движениях. Можно согласиться, что в колебательных движениях дизеля вдоль всех трех осей координат он движется как одно целое тело со всеми звеньями (если нет люфтов). Вдоль вертикальной оси Y корпус, маховик, коленчатый вал движутся как одно целое. Вдоль оси X перечисленные детали тоже движутся как одно целое, однако во вращательном движении вокруг оси Z участвует корпус СДВС. Маховик с коленчатым валом вращаются в другую сторону по отношению к корпусу. Поршень, если учитывать ускорение Кориолиса участвует во вращательном движении корпуса СДВС. Когда поршень идет вверх и поднимается выше главной центральной оси центра масс, он увеличивает момент инерции корпуса СДВС и значит, уменьшает его угловую скорость. Отсюда следует, что поршень уже нельзя считать единым целым с корпусом СДВС. Тоже самое можно сказать и о шатунах, и тем более о маховике с коленчатым валом. Во вращательном движении последние являются посторонними телами, хотя и находятся в корпусе СДВС. Особенно ярким примером сказанного является дизель-генератор, в котором все массы находятся на единой раме. Поскольку закон сохранения момента количества движения нарушить невозможно, то крутильные колебания корпусных деталей неизбежны (ведь вращающиеся массы дизель-генератора имеют неравномерность хода).

Из вышесказанного ясно, что увеличение порядков уравнивания [1] теряет смысл, так как невозможно нарушить закон сохранения движения центра масс.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кожевников, С.Н. Теория механизмов и машин / С.Н. Кожевников. -М.: Машиностроение, 1969. -584 с.

2 Артоболевский, И.И. Теория механизмов и машин / И.И. Артоболевский. -М.: Наука, 1988. -640 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *компенсация сил инерции*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Зувев Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГавт»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавт»*

ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.В. Плаксин

SOUND INSULATION OF PREMISES

«Novosibirsk state academy of water transport»

D.V. Plaksin

In given clause one of positive decisions on decrease in noise on courts and in premises is offered. As is known, the high noise level not only is harmfully reflected in an organism of the person, but also can indirectly influence increase in breakdown susceptibility, both separate mechanisms, and a river vessel as a whole. Therefore the offered technology on protection against noise will find the application at the expense of the simplicity, efficiency and experimental acknowledgment.

Предложено одно из положительных решений по снижению шума на судах и в производственных помещениях. Как известно, высокий уровень шума не только вредно отражается на организме человека, но и косвенно может влиять на увеличение аварийности, как отдельных механизмов, так и речного судна в целом. Поэтому предложенная технология по защите от шума найдет свое применение за счет своей простоты, эффективности и экспериментального подтверждения.

В эпоху технического прогресса конец XX начало XXI веков силовые энергетические установки получили наибольшее развитие. Увеличилась мощность и производительность судовых двигателей внутреннего сгорания (СДВС), что в свою очередь принесло большой заряд энергии шума от работающих СДВС.

В машинных отделениях уровень шума сейчас достигает от 110-120 дБ, а уровни шума в жилых и рабочих помещениях расположенных в близи машинного отделения достигают 80-95 дБ. Соответственно это прямое нарушение физиологических ощущений превышающее норму ощущения громкости в 8-16 раз. Если за допустимый уровень принять 60 дБ [1].

Шум создает неприятные ощущения на организм человека так как условия жизнедеятельности плавсостава отличаются от условий, в которых трудятся работники промышленных предприятий. Их характеризуют длительное круглосуточное пребывание на судне и воздействие комплекса неблагоприятных факторов, включающих шум, вибрацию, качку, повышенную влажность, токсичные выделения и т.п. Еще в 70-е годы прошлого века были разработаны и введены Санитарные нормы шума в помещениях судового речного флота №1404-76 [2].

В настоящее время на судах применяют высокооборотные двигатели внутреннего сгорания, которые создают шум в машинных отделениях и жилых помещениях более высокочастотный. Поэтому на теплоходах с малооборотными двигателями шумы, не смотря на то, что их уровни достигают иногда высоких значений благодаря низкочастотным спектрам в меньшей степени вредны, чем на теплоходах с высокооборотными двигателями внутреннего сгорания [3].

Для того, что уменьшить уровень шума до пределов нормы, многие машинные отделения переоборудуют, то есть делают облицовку стен и переборок звукопоглощающим материалом. Дополнительную звукоизоляцию устанавливают в каютах команды и пассажиров и рабочих помещениях. Так как в процессе проектирования судна конструкторы решают комплекс вопросов, направленных на создание судна, которое при минимальных затратах на его постройку и эксплуатацию способно выполнить поставленные перед ним задачи. При этом оно должно удовлетворять требованиям контролирующих организаций – Российского Речного Регистра и санитарного надзора, предусматривающим необходимые условия обитаемости и безопасности плавания экипажа и пассажиров, в том числе и обеспечение минимальных уровней шума на судне. Поэтому для каждого судна отдельно нужно разрабатывать индивидуальный противозумовой комплекс так как морской и речной флот имеет различные архитектурные типы судов.

Также устанавливают звукоизолирующие конструкции их основное действие основано на эффекте отражения звука. Поэтому наибольшей звукоизоляцией обладают преграды из плотных твердых материалов с большой поверхностной массой. В конструкции применяется, пористоволокнистый материал это может быть и стекловата. Но звукопоглощающая способность этих материалов невелика. Обычно этот материал снижает уровень шума всего на 6-8 дБ.

Кафедра ТММ и ДМ ФГОУ ВПО «НГАВТ» предлагает новый метод решения подобных проблем. Мы применяем более простые и доступные материалы. Один из таких материалов – речной песок. Ранее мы уже рассматривали в своих работах речной песок. Песок как звукопоглощающий материал показал очень хорошие результаты в области шумозащиты. Проводились различные лабораторные испытания. Была разработана звукопоглощающая камера [4].

Изобретенные ранее звукопоглощающие конструкции предшественниками имеют обратный эффект. Они не поглощают звуковую энергию, а отражают, что в свою очередь ведет к дальнейшему распространению шума на судах, а не к его затуханию. Наша конструкция позволяет поглощать шум в себя и не пропускать его дальше или отражать от его стенок (рисунок).

Эксперименты проводились с различными типами песка. Менялись свойства песка. Опыт наглядно показал, что влажный песок хорошо пропускает шум, а вот сухой и просеянный речной песок очень эффективен.

Предложено применять звукопоглощающие перегородки из песка, а не из традиционных материалов. Песок также можно будет засыпать в между перегородками. Выбрать определенный слой в зависимости где будут располагаться перегородки.



Рисунок – Звукопоглощающая камера

Собирается и разбирается такая конструкция очень быстро. Требуется малых финансовых затрат. Проходит по всем санитарным нормам.

В качестве вывода можно сделать следующее: что песок обладает хорошим свойством по снижению шума.

В данный момент эксперименты продолжаются, идет поиск новых идей и материалов, моделируются различные конструкции.

Песок открывает большие возможности в области снижения шума и звуковой вибрации. С данным материалом целесообразно проводить эксперименты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зинченко, В.И. Шум судовых двигателей / В.И. Зинченко. -Л.: Судпромгиз, 1957. -5 с.
- 2 Комплекс противошумовых мероприятий на судах речного флота. Общие требования по проектированию и предъявлению к сдаче. -Л.: Транспорт, 1977.
- 3 Изак, Г.Д. Шум на судах и методы его уменьшения / Г.Д. Изак, Э.А. Гомзигов. -М.: Транспорт, 1987. -30 с.
- 3 Плаксин, Д.В. Молодежь и научно-технический прогресс. -Ч.3. / Д.В. Плаксин. - Владивосток: ДВПИ, 2009. -27 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: звукоизоляция помещений
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Плаксин Денис Владимирович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

НОВЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ И СИСТЕМ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.А. Зуев

NEW QUESTIONS OF THE THEORY OF DROP OF VIBRATION OF GEARS AND SYSTEMS
 «Novosibirsk state academy of water transport»
 A.A. Zuev

Some questions of the theory of a vibration insulation in the light of concepts the resulted ruggedness and the resulted frequency of own fluctuations are stated.

Изложены некоторые вопросы теории виброизоляции в свете понятий приведенная жесткость и приведенная частота собственных колебаний.

С высоты горы накопленных результатов исследований разнообразных виброизолирующих механизмов и систем отчетливо просматриваются зигзаги и тупики пройденного пути. Самый опасный тупик, отнявший несколько десятилетий, это борьба с резонансами. Отголоски этой борьбы до сих пор «звучат» на страницах технических изданий. Единственным оружием в этой борьбе является диссипация накапливающейся энергии колебаний. Привычная амплитудно-частотная характеристика (АЧХ) с трением и без трения подталкивает к кажущемуся единственным решением о необходимости вводить трение (рисунок 1).

В этой борьбе незаметно произошла подмена цели, так виброизоляцию поменяли на борьбу с резонансами. По АЧХ видно, что с введением трения виброизоляция ухудшается (кривая 2 на рисунке 1).

Ось абсцисс АЧХ безразмерная. В числителе W - частота вынуждающих колебаний являющаяся независимой переменной. В знаменателе W_0 - частота собственных колебаний механической системы. Именно системы тел, а не одного тела.

Традиционно считается, что частоту собственных колебаний механической системы W_0 нельзя снижать до нуля и тем более делать её отрицательной. Решимся нарушить эту традицию и рассмотрим случай, когда W_0 стремится к нулю. Тогда отношение W/W_0 стремиться к бесконечности. Выберем соответствующий масштаб $M_{W/W_0} = \text{ист/мм} = 10^{20}/100$. Видим, что резонансный пик смещается

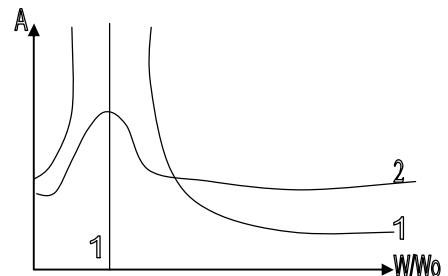


Рисунок 1 – Амплитудно-частотные характеристики: 1-без трения; 2-с трением

влево и сливается с осью ординат и поле АЧХ остается чистым, так как нисходящая ветвь сливается по осям абсцисс и ординат.

Отсюда можно сделать вывод, что это уже не колебательная механическая система. Математика пугает неопределенность положения защищаемого (или вибрирующего) объекта, бесконечные перемещения и убежденность, что жесткость равная нулю это математический парадокс, что это только единственная точка на силовой характеристике балки Мизеса (когда касательная параллельна оси абсцисс).

Недоверие к нулевой жесткости прочно держится в головах исследователей, хотя уже 25 лет существуют действующие механизмы, демонстрирующие нулевую жесткость на перемещении до 30 мм и более.

Проблемы виброизоляции на судах так и остается нерешенной со времен Крылова и Папковича. Более того, проблема только обостряется. Мощности ДВС продолжают увеличиваться, а отношение массы к мощности уменьшается. Судно – это целый «город», выполненный из стали, и по этим стальным «дебрям» свободно гуляет энергия колебаний самых различных частот. Введенные санитарные нормы уровней вибраций на большинстве судов не выдерживаются.

По каким же законам гуляют колебания в этих «дебрях»? Заглянем в теоретические труды, посвященные вопросам теории колебаний. В подавляющем большинстве этих трудов рассматриваются, как правило, одноосные колебания, причем только одной реже двух трех масс на упругом элементе, имеющем положительную жесткость. Естественно при положительной жесткости неизбежны резонансы, и с ними надо бороться.

Борьба идет в основном с помощью трения (сухого и жидкостного). Другим направлением борьбы является компенсация сил инерции звеньев расположенных между вибрирующим и защищаемым объектами.

Наиболее современным подходом в борьбе с резонансом является изменение частоты собственных колебаний реальной подвески при переходе через резонанс. Для этого необходимы сложные следящие системы, как правило, с подводом энергии. На этом пути имеются сложности с внедрением и наладкой.

Имея опыт в рассматриваемой проблеме, необходимо поставить вопрос об идеальной виброизолирующей системе и её основных характеристиках. Такой шаг сделан в работах [1, 2]. Причем в них отмечается, что эти системы не имеют резонансных частот. Это даже не колебательные системы! Там четко, как и законы динамики, сформулированы законы идеальной виброизоляции (не защиты, а именно изоляции). Ведь упругие связи в упомянутых выше стальных «дебрях» не только положительные, но и нулевые и отрицательные.

В публикации [3] введены понятия нулевой жесткости C , приведенной локальной жесткости C_{np} , и приведенной частоты собственных колебаний ω_{np} . Там четко указано, что C_{np} в циклических механизмах (ДВС) за время цикла изменяется в общем случае от $-\infty$ до $+\infty$, и дважды за цикл переходит через нулевое значение.

Напомним, что C_{np} это не коэффициент жесткости, а первая производная от силы по перемещению (как и скорость V). Чтобы убедиться в этом рассмотрим пару примеров.

Пример 1. Определить приведенную жесткость C_{np} в точках АБВГ невесомой абсолютно жесткой балки, если пружина имеет жесткость равную 5 кН/м (рисунок 2).

Без вычислений видно, что C_{np} в точке В равно 5 кН/м. В точке А она равна $+\infty$. В точке Б она равна 20 кН/м, если АБ равно БВ. В точке Г C_{np} будет меньше 5 кН/м если БГ больше нуля. Из примера видно, что приведенная жесткость в разных точках балки изменяется в очень широком диапазоне от нуля до бесконечности.

Пример 2. Определить C_{np} в точках балки (рисунок 3) АБВГД, если пружины имеют одинаковую жесткость, равную 5 кН/м.

Опыт из примера 1 позволяет утверждать, что в точках Б и Г C_{np} равно 5 кН/м, а точке В C_{np} равно 10. В этом случае приведенная жесткость рассматриваемого механизма изменяется от нуля до десяти.

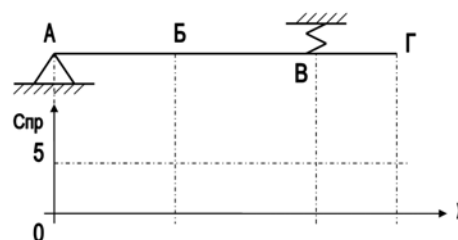


Рисунок 2 – Схема пружинно-рычажного механизма

Из приведенных примеров видно, что говорить «коэффициент жесткости» не корректно. Ведь мы же не говорим «коэффициент скорости» так как это тоже производная.

Если затронуть более сложные механизмы то обнаруживается, что жесткость приведенная (как и любая производная, например скорость) может принимать и отрицательные значения.

Рассмотрим пример широко распространенного сложного механизма содержащего кривошип, шатун и поршень за время одного полного оборота кривошипа. На рисунке 4а показан реечный (зубчатый) механизм 1 приводящий в движение кривошип 2 шатун 3 и поршень 4. Сила давления газов заменена линейной пружиной 5 имеющей предварительный натяг h .

На рисунке 4б приведена силовая характеристика упругого элемента имеющего предварительный натяг h при положении поршня в нижней мертвой точке.

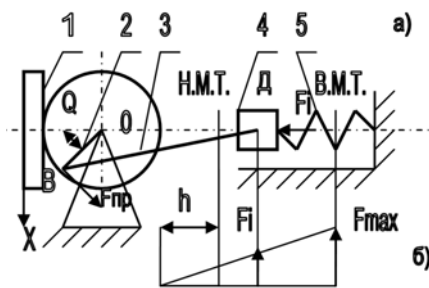


Рисунок 4 – а)-Схема пружинно-рычажного механизма б)-Силовая характеристика пружины 5

Учитывая, что жесткость $C_{пр}$ является первой производной от приведенной силы построим график изменения приведенной силы $F_{пр}$ в зависимости от изменения угла Q (или координаты x) (рисунок 5а). Полученная кривая близка к синусоиде (шатунная кривая), а первая производная от нее представляет собой кривую близкую к косинусоиде.

Судя по рисунку 5б, приведенная жесткость за один оборот дважды переходит через нулевое значение. (Это явление также неприятно, как и перекладка поршней в СДВС).

В теоретической механике и теории колебаний рассматриваются колебания материальной точки подвешенной на пружине. Там рассматриваются понятия резонанса, биения, затухания и др. Обычно вопросы виброизоляции там не рассматриваются.

Вопросам виброизоляции посвящено множество трудов. Во взглядах на проблему виброизоляции существенный перелом произошел после появления работ профессора А.К. Зуева [1, 2].

До этих работ основными проблемами являлись:

1 Резонансные режимы и как неизбежное (спасительные пути) введение трения.

2 Снижение жесткости упругих элементов нежелательное из-за недопустимых смещений защищаемого объекта.

3 Невозможность идеальной виброизоляции.

После публикации этих работ проблемы изменились:

1 По условиям теории идеальной виброизоляции [1, 2] при постоянной нагрузке в подвеске усилие в ней должно быть неизменным (жесткость должна быть равна нулю).

2 Если нагрузка изменяется в широких пределах, то силовая характеристика должна быть в виде бесконечно-го количества отрезков горизонтальных прямых длиной $2A$ и расположенных своими серединами на наклонной прямой отражающей собой силовую характеристику основного упругого несущего элемента.

Другими словами такой механизм представляет собой следящую систему с задержкой сигнала на перестройку на четверть цикла колебания вибрирующего объекта

Все труды до рассматривают проблему виброизоляции в следующем порядке:

1 Составляем дифференциальное уравнение движения защищаемого объекта.

2 Дважды интегрируем.

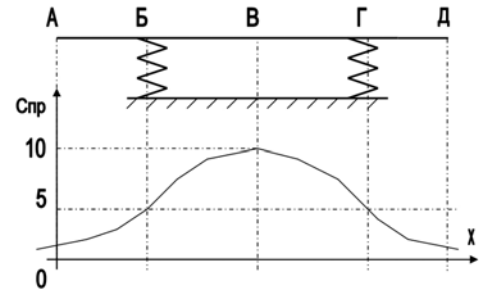


Рисунок 3 – Схема пружинно-рычажного механизма с двумя пружинами и его жесткостная характеристика

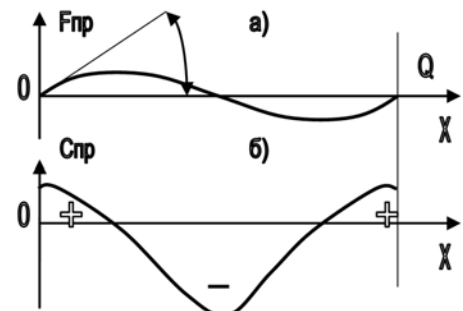


Рисунок 5 – а)-График изменения приведенной силы за один оборот кривошипа; б)-График изменения приведенной жесткости за один оборот кривошипа

3 Минимизируем амплитуды колебаний защищаемого объекта.

4 Получаем численное решение.

Теперь решение задачи идет в следующем порядке:

1 Формулируем условия идеальной виброизоляции защищаемого объекта. Это условие соответствует первому закону динамики «Изолированная от внешних воздействий материальная точка находится в состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения пока внешние силы не выведут её из этого состояния».

2 Из второго закона динамики «Произведение массы на ускорение равняется векторной сумме сил» следует, что ускорение защищаемого объекта будет равно нулю, если главный вектор и главный момент всех сил действующих на защищаемый объект равны нулю в любой момент времени.

Сказанное выше позволяет сформулировать условия идеальной виброизоляции: «Идеальная виброизоляция абсолютно твердого тела обеспечена, если главный вектор и главный момент всех сил действующих на защищаемый объект равны нулю в любой момент времени».

Идеальным виброизолирующим устройством для этого случая является следящая система в виде, например, механизма третьего поколения [2].

Получение нулевой жесткости на заданном размахе колебаний 2А возможно только при использовании компенсаторов жесткости компенсирующих жесткость основного упругого элемента вплоть до нулевых значений. Приведенная (суммарная) жесткость такого виброзащитного механизма должна быть равна нулю.

Из вышесказанного следует, что в дальнейшем придется иметь дело со сложными пружинно-рычажными механизмами. Упомянутые выше пружинно-рычажные механизмы должны иметь одну степень свободы. Понятие приведенной жесткости механизма, упомянутое выше предполагает, приведение силы приведенной и массы приведенной к одной точке. Нетрудно видеть, что приведенная сила в разных точках механизма оказывается разной. Значит, и приведенная жесткость в разных точках механизма будет тоже разной. Сказанное выше справедливо и для приведенной массы. Так на рисунке 4а возьмем в качестве точки приведения точку К расположенную в середине кривошипа ОВ. Очевидно, что для уравнивания силы пружины в данном положении кривошипа уравнивающая сила потребует вдвое большая, чем в точке В. Значит и приведенная сила потребует вдвое большая, но перемещение точки К приложения силы будет вдвое меньше, чем в точке В. Поэтому жесткость, приведенная в точке К будет в четыре раза больше. В тоже время приведенная масса тоже не останется прежней. Учитывая, что приведенная масса это такая масса, которая, двигаясь со скоростью точки приведения, обладает кинетической энергией равной сумме кинетических энергий всех звеньев механизма можно сказать, что сумма кинетических энергий осталась той же, и приведенная масса должна быть вчетверо большей. Из наших публикаций [4] известна формула приведенной частоты собственных колебаний сложного пружинно-рычажного механизма

$$\omega = \frac{1}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{C_{np}}{m_{np}}}$$

Судя по подкоренному выражению этой формулы, видим, что смена точки приведения не изменяет величину дроби. Это значит, что приведенная частота колебаний механизма имеющего одну степень свободы не зависит от точки приведения. Даже если точка приведения находится в любой точке любого звена механизма.

С нашей точки зрения, дальнейшее совершенствование виброизолирующих механизмов просматривается в дальнейшем уменьшении сил трения и сил инерции в звеньях, соединяющих вибрирующий и защищаемый объекты, в том числе и в самих упругих элементах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Зуев, А.К. Вибрация машин и пути их виброизоляции / А.К. Зуев // Вопросы виброизоляции судовых механизмов и машин: сб. науч. тр. / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. - Новосибирск, 1983. -С. 6-18.

2 Зуев, А.К. Теория виброизоляции / А.К. Зуев // Виброизоляция механизмов и машин: сб. науч. тр. / Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1984. -С. 14-23.

3 Зуев, А.К. К расчету жесткости механизма в точке / А.К. Зуев, Ю.И. Ришко // Сиб. науч. вестн. -Новосибирск, 2005. -Вып.8. -С. 175-176.

4 Зуев, А.К. О подобии колебательных процессов и теории света / А.К. Зуев, А.А. Зуев, Ю.И. Ришко // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -Новосибирск, 2007. -№2. -С. 236-237.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *приведенная частота колебаний механизма*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Зуев Андрей Анатольевич, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин

**METHODS OF INCREASING OF OPERATION EFFICIENCY OF THE MODERN SYSTEMS OF THE TRANSPORTATION,
DISTRIBUTION AND CONSUMPTION OF HEAT ENERGY**
«Chita state university»

A.G. Batuhutin, M.S. Bass, S.G. Batuhutin

In article it is considered problem of nonoptimal functioning(working) of the system of transportation, distribution and consumption of heat energy in consequence of branching and different sluggishness of heat circuits, as well as influence of different degree of automations of heat energy consumers and different kind of their heat loadings. It is considered its main reasons and offered the plan of carrying out the research directed to its realization.

Рассмотрена проблема неоптимальной работы системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии вследствие разветвленности и разной инерционности участков тепловых сетей, а также влияния различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и неоднородности их тепловых нагрузок. Приведены ее основные причины и предлагается план проведения исследований направленных на ее решение.

Теплоснабжение сегодня – одна из наиболее затратных областей коммунального хозяйства. Обеспечение качественного и энергоэффективного теплоснабжения потребителей тепловой энергии является ее основной задачей. В соответствии с действующими нормами температура воздуха в помещениях в холодный период года должна иметь определенное значение и не зависит от погодных и временных условий. Однако, в настоящее время повсеместно наблюдается недогрев и перегрев потребителей тепла. Эта проблема ненормативного отпуска присуща практически для всех городов России с централизованным теплоснабжением.

Анализ потребления тепловой энергии потребителями оборудованными приборами учета тепловой энергии города Читы Забайкальского края показал значительное отклонение реального теплоснабжения от расчетных значений. К примеру, из 81 объекта финансируемого из городского бюджета 14 характеризуется превышением фактического потребления над расчетным, причем отклонение доходит до 40%, что определяет перетоп данных объектов. Остальные 67 объектов характеризуется недоотпуском тепловой энергии. При этом общий недоотпуск тепловой энергии на всех объектах составил более 22% [1].

Поддержание комфортных температурных условий в помещениях потребителей является первоочередной задачей для систем теплоснабжения, а при общем недоотпуске тепловой энергии не представляется возможным.

Можно выделить следующие причины недоотпуска обусловленного неоптимальной работой систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии.

1 Разрегулировка абонентов друг относительно друга вследствие их разноудаленности от источника теплоснабжения. Конфигурация тепловой сети может иметь сложный вид, абоненты расположены на разных расстояниях от источников теплоснабжения. К примеру, не в самой большой системе теплоснабжения г. Читы запаздывание температурных откликов различных лучей теплосетей составляет от 1 до 8 ч [2].

2 Отсутствие комплексного учета воздействующих на эффективность теплоснабжения факторов при формировании графиков отпуска тепла от источников теплоснабжения. К таким факторам можно отнести погодные условия, суточное изменение нагрузки ГВС, потери тепла на участках тепловой сети, инерционное запаздывание теплоносителя, аккумулирую-

щую способность зданий, техническое состояние теплосети, а также множество схем абонентских вводов и неоднородность у различных потребителей соотношения разных видов тепловой нагрузки.

3 Увеличение тепловой нагрузки. С каждым годом тепловые сети значительно расширяются, ведется строительство большого количества благоустроенных зданий. Увеличение же нагрузки не учтено в действующих графиках отпуска тепла от источников теплоснабжения. Во многих городах графики регулирования не пересчитывались еще с 1990-х годов и необоснованно отклонялись от оптимальных значений.

4 Установка местных и индивидуальных средств автоматики. Потребители тепла самостоятельно устанавливают на вводах и перед отопительными приборами средства автоматического регулирования, что никак не учитывается на источниках теплоснабжения. Результаты испытаний и расчетов показывают экономическую целесообразность энергосбережения путем индивидуального автоматического регулирования отопительных приборов и оборудования абонентских вводов автоматическими узлами управления, но только для конкретного абонента, а не всей системы в целом. К недостаткам применения современных систем автоматического отпуска теплоты регулирования на абонентских вводах можно отнести значительные требования к графикам центрального регулирования тепловой нагрузки и значительное влияние автоматизированных узлов одних потребителей на качество теплоснабжения соседних. Применение систем автоматического регулирования с установками насосного смешения у части потребителей провоцирует периодические недотопы и перетопы у соседних.

В результате можно сделать следующий вывод: к основным причинам неоптимальной работы современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии России можно отнести разветвленности и разную инерционность участков тепловых сетей, а также влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок, не учитываемые в графиках центрального регулирования.

Для решения данной проблемы предлагается следующая последовательность действий:

1 Разработка моделей функционирования потребителей тепловой энергии с различными схемами подключения установок отопления и горячего водоснабжения не оборудованных системами автоматического регулирования учитывающих разнородность тепловых нагрузок с учетом нестационарных тепловых режимов.

2 Разработка моделей функционирования потребителей тепловой энергии с различными схемами подключения установок отопления и горячего водоснабжения, оборудованных гидравлическими системами автоматического регулирования учитывающих разнородность тепловых нагрузок с учетом нестационарных тепловых режимов.

3 Разработка моделей функционирования потребителей тепловой энергии с различными схемами подключения установок отопления и горячего водоснабжения, оборудованных современными системами автоматического регулирования (с насосным смешением и функциями корректировки теплоснабжения в зависимости от температур наружного и внутреннего воздуха) учитывающих разнородность тепловых нагрузок с учетом нестационарных тепловых режимов.

4 Экспериментальное подтверждение достоверности представления различных типов потребителей тепловой энергии разработанными моделями.

5 Разработка модели функционирования разветвленной системы транспортировки и распределения тепловой энергии учитывающей различную инерционность участков тепловых сетей и их аккумулирующую способность.

6 Экспериментальное подтверждение достоверности представления функционирования разветвленной системы транспортировки и распределения тепловой энергии разработанной моделью.

7 Разработка комплексной модели функционирования разветвленной системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии учитывающей разветвленность и разную инерционность участков тепловых сетей, а также влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок.

8 Экспериментальное подтверждение достоверности представления функционирования разветвленной системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии учитывающей разветвленность и разную инерционность участков тепловых сетей, а также

влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок комплексной моделью.

9 Разработка комплексной энергосберегающей методики оптимизации транспортировки, распределения и потребления тепла с учетом разветвленности и разной инерционности участков тепловых сетей, а также влияния различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок.

10 Расчет экономического эффекта от внедрения комплексной энергосберегающей модели оптимизации транспортировки, распределения и потребления тепла с учетом разветвленности и разной инерционности участков тепловых сетей, а также влияния различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок.

Научная значимость указанной проблемы заключается в том, что для ее решение необходимо создание современных методик описания функционирования разветвленных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии, учитывающих разветвленность и разную инерционность участков тепловых сетей, а также влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок, а также методики оптимизации их функционирования.

Это вызвано тем, что существующие в настоящее время методики описания функционирования потребителей тепловой энергии и разветвленных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии были созданы еще учеными советского союза и не учитывают очень большого количества факторов. Современные системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии отличаются наличием потребителей с различной степенью автоматизации и большой разветвленностью. А существующие методы регулирования отпуска тепловой энергии в системах централизованного теплоснабжения основаны на устаревших методики описания функционирования потребителей тепловой энергии и разветвленных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии и не отвечают современным требованиям энергосбережения.

В результате проведения научных исследований предполагается получить следующие научные результаты:

1 Модели функционирования потребителей тепловой энергии с различными схемами подключения установок отопления и горячего водоснабжения и различной степенью автоматизации учитывающие разнородность тепловых нагрузок с учетом нестационарных тепловых режимов.

2 Модель функционирования разветвленной системы транспортировки и распределения тепловой энергии учитывающая различную инерционность участков тепловых сетей и их аккумулирующую способность.

3 Комплексная модель функционирования разветвленной системы транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии учитывающая разветвленность и разную инерционность участков тепловых сетей, а также влияние различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок

4 Комплексная энергосберегающая методика оптимизации транспортировки, распределения и потребления тепла с учетом разветвленности и разной инерционности участков тепловых сетей, а также влияния различной степени автоматизации потребителей тепловой энергии и разнородности их тепловых нагрузок.

Работа по повышению эффективности функционирования современных систем транспортировки, распределения и потребления тепловой энергии проводится авторами в рамках Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванов, С.А. Анализ опыта установки приборов учета тепловой энергии в Чите / С.А. Иванов, О.Е. Куприянов, А.А. Середкин // Пром. энергетика. -2000. -№4.

2 Батухтин, А.Г. Влияние протяженности тепловых сетей на режимы отпуска теплоты от ТЭЦ с учетом функционирования потребителей / А.Г. Батухтин, О.Е. Куприянов // Пром. энергетика. -2005. -№5. -С. 39-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматика, исследование, потребитель, регулирование, аккумулирующая способность, централизованное теплоснабжение, инерционность, гидравлический режим, энергосбережение, нагрузка

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка

ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Басе Максим Станиславович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Батухтин Сергей Геннадьевич, специалист центра энергосбережения ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛОГО НАСОСА В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ГОУ ВПО «Читинский государственный университет»

П.Г. Сафронов, А.Г. Батухтин, С.А. Иванов

THE USE OF THE THERMAL PUMP IN THERMAL SCHEMES OF THERMAL POWER STATION

«Chita state university»

P.G. Safronov, A.G. Batuhtin, S.A. Ivanov

Possibility of use of the turbine as a drive of the thermal pump is considered, the scheme of inclusion of the thermal pump is offered.

Рассмотрена возможность использования турбины в качестве привода теплового насоса, предложена схема включения теплового насоса.

В новых рыночных условиях при не полной загруженности промышленного отбора, в связи со спадом промышленности, изыскиваются возможности использования свободной тепловой мощности и повышения электрической мощности станции. Наиболее распространенными являются использование промышленного отбора: в качестве пикового источника, например на Читинской ТЭЦ 1, работа турбины по данному способу экономически целесообразна при низких температурах наружного воздуха; в качестве источника пара для турбопривода питательного насоса, на станциях среднего и низкого давления применение турбопривода питательного насоса целесообразно в случае использования отработавшего пара турбопривода для нужд централизованного теплоснабжения [1]; в качестве источника пара ЦНД при демонтированном ЦВД сторонней турбины, данный способ экономически целесообразно использовать при низких температурах наружного воздуха.

В качестве загрузки промышленного отбора предлагается использовать турбопривод вращающий тепловой насос. Традиционное использование электродвигателя в качестве привода теплового насоса снижает коэффициент преобразования энергии (КОП) от 5 до 15% и более. В литературе [2] предложена схема использования теплового насоса в качестве первой ступени подогрева сетевой воды турбины с противодействием подключенной противодействием ко второй ступени сетевого подогревателя, а испаритель теплового насоса подключен к циркуляционному водоводу конденсационной турбины. Такое схемное решение по заявлению автора [2] позволяет на каждую тону сожженного топлива в систему централизованного теплоснабжения подавать эквивалент двух тон. Данное решение для Российских условий слабо применимо ввиду эксплуатации на большинстве станций теплофикационных турбин конденсационного типа, кроме того вытеснение отработавшего пара турбины с противодействием, в ряде случаев не оправдано из-за снижения электрической мощности низкой себестоимости. В Российских условиях с наметившим демографическим ростом и ростом строительства жилья потребность в тепловой энергии с каждым годом будет только расти.

На рисунке 1 показана схема, которая позволяет повысить тепловую мощность и экономичность станции, загрузить промышленный отбор турбины. ТЭЦ имеет в своем составе теплофикационную турбину 1, турбину 2 для привода теплового насоса 3. Испаритель теплового насоса соединяют с циркуляционным водоводом турбины 1, после конденсатора. Конденсатор теплового насоса служит сетевым подогревателем, работающим параллельно с основным сетевым подогревателем турбины 2.

Очевидно, что нагрев сетевой воды в конденсаторе теплового насоса целесообразно проводить, как можно ниже, для примера примем нагрев сетевой воды до 80 °С, а температура сбросной циркуляционной воды 30 °С. Коэффициент преобразования энергии (КОП) при принятых температурах по циклу Карно [2] составит 7,06, а по реальному циклу [2] 3,69, то есть получаем на 1 кВт потребляемой мощности тепловым насосом 3,69 кВт тепловой энергии.

При таком включении тепловая мощность станции возрастет, и нагрузка промышленного отбора используется более эффективно. Использование теплового насоса целесообразно

но проводить и в летнее время на станциях при минимальной выработке электроэнергии, так как температура нагрева сетевой воды ниже и КОП теплового насоса возрастает, кроме того экономичность ТЭЦ в летний период ниже, чем конденсационной, поэтому можно разгрузить турбины по тепловой и электрической нагрузкам.

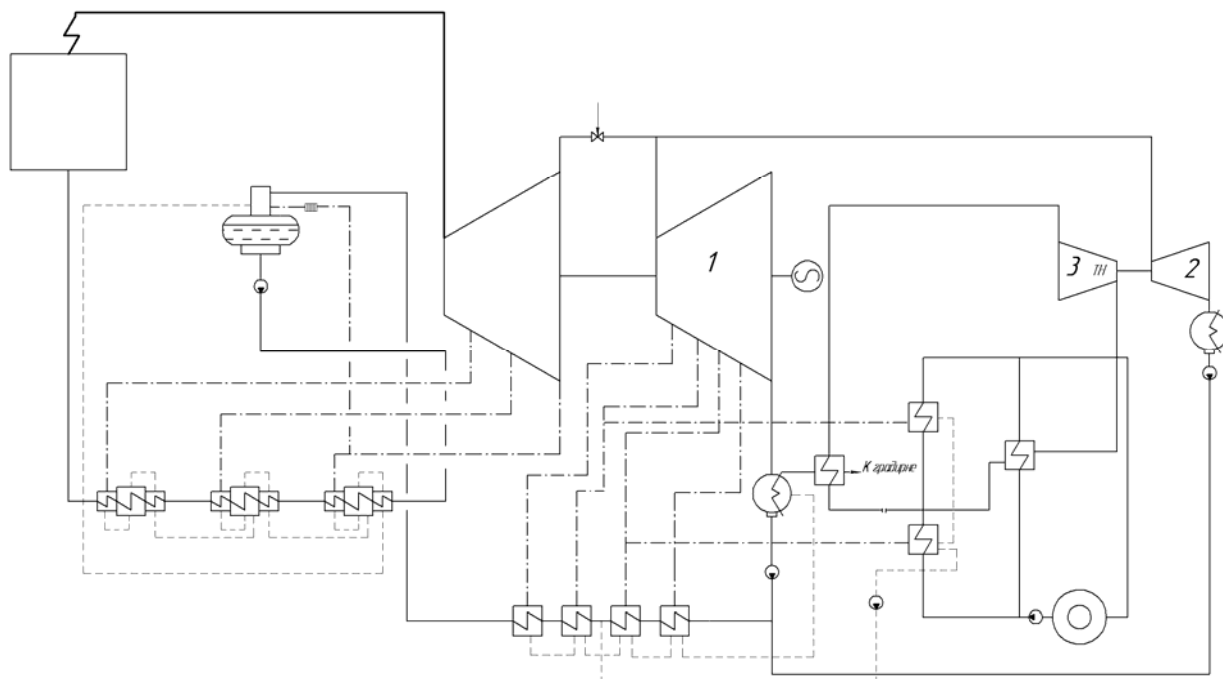


Рисунок 1 – Схема включения теплового насоса

Проведем сравнительный анализ с другими способами повышения тепловой мощности станции. Предлагаемая схема включения теплового насоса со схемой включения в качестве параллельной ступени электрического котла не сопоставимы. Использование теплового насоса более экономично, потому что на одно и то же количество подведенной электрической энергии будет получено большее количество тепловой энергии тепловым насосом, к тому же при таком включении тепловой насос позволяет догрузить промышленный отбор турбины, позволяя повысить электрическую мощность станции.

Сравним тепловой насос с водогрейным котлом и с вариантом нагрева сетевой воды паром производственного отбора в теплообменнике. Нагрузку примем 60 МВт, температурный график 80/50; КПД водогрейного котла 0,85; КПД энергетического котла 0,9; КПД теплообменников, электромеханический и транспорта тепла 0,99; расчет будем вести по условному топливу, тепловая схема турбины рассчитывалась на программе [3].

При сравнении вариантов, расход топлива водогрейным котлом составил 2,41 кг/с; при полной утилизации в теплообменнике, увеличение расхода пара на турбину составило 22 кг/с, а топлива 2,02 кг/с; при использовании теплового насоса увеличение расхода пара на турбину составило 18,8 кг/с при расходе пара на привод теплового насоса 25 кг/с, увеличение расхода топлива составило 1,73 кг/с.

Применение теплового насоса с турбоприводом в качестве сетевого подогревателя по сравнению с другими вариантами дает более значительную экономию топлива. Кроме того при достаточной тепловой мощности станции такое включение позволит перенести часть или всю тепловую нагрузку на тепловой насос. Так же можно поступить и при пике электрической нагрузке перенести часть тепловой нагрузки на тепловой насос и увеличив мощность развиваемую турбиной за счет пара промышленного отбора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рыжкин, В.Я. Тепловые электрические станции: учеб. для вузов / В.Я. Рыжкин; под ред. В.Я. Гришфельда. -3-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1987. -328 с.: ил.
- 2 Рейд, Д. Тепловые насосы / Д. Рейд, Д. Макмайл. -М.: Энергоиздат, 1987. -328 с.
- 3 Батухтин, А.Г. Программа расчета реальных тепловых схем ТЭС и распределения те-

пловых и электрических нагрузок между агрегатами «Scheme Calculation»: свидетельство о гос. регистрации прогр. для ЭВМ №2009614236 / А.Г. Батухтин, П.Г. Сафронов, В.А. Мершеева.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: турбина, тепловой насос, нагрузка, котел, подогреватель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сафронов Павел Григорьевич, аспирант ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Батухтин Андрей Геннадьевич, канд. техн. наук, директор технико-внедренческого парка ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

Иванов Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672039, г. Чита, ул. Александрово-Заводская, 30, ГОУ ВПО «Читинский ГУ»

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КРЫШКИ ЦИЛИНДРА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ 6RD76

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Ю.Е. Векслер

COOLING INTENSITY OF THE CYLINDER COVER OF THE SHIP'S DIESEL 6RD76

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.E. Veksler

Experimentally calculation method of heat exchange in cooling spaces of diesel is described. The diagrams of improving the cooling of cylinder covers are given as a good example. Experimental data of heat exchanging conditions are achieved at various hydroregime of cooling. Instructions on intensity of heat exchange are demonstrated in cylinder covers of ship's diesel.

Описан расчётно-экспериментальный метод исследования теплообмена в полости охлаждения дизеля. Приведены схемы улучшения охлаждения цилиндрических крышек. Получены экспериментальные данные условий теплообмена при различных гидрорежимах охлаждения. Даны рекомендации по интенсификации теплообмена в цилиндрических крышках судового дизеля.

Крышки цилиндров дизелей типа RD, восстановленные наплавкой огневой поверхности имеют малый срок службы. Характерными отказами крышек дизеля 6RD76 являются выгорания газовой поверхности огневого днища, термоусталостные разрушения металла, а также трещины, распространяющиеся по всему периметру огневой доски, и расположенные с обеих её сторон. В начальный период эксплуатации цилиндрические крышки, изготовленные из стали SC42(20ХМЛ), поставленные заводом изготовителем, работали надёжно. Восстановительный ремонт цилиндрических крышек наплавкой огневой поверхности на судоремонтных заводах не обеспечивает их достаточной долговечности. Термометрирование огневого днища показало высокий температурный уровень его поверхности, как с газовой стороны, так и со стороны охлаждения, неравномерность теплоподвода по периметру днища, вызывающую асимметрию температурного поля крышки цилиндра.

Закономерности теплопередачи через стенки камеры сгорания (КС) дизеля, а также методика проведения исследования описана в работах Г.Б. Роземблита, Х. Хаузена, Р.М. Петриченко, М.К. Овсянникова, Г.А. Давыдова, В.М. Бузника и др. Практическое исследование теплообмена в полостях охлаждения деталей, образующих камеру сгорания, основано на законах теплопередачи Фурье, Ньютона-Рихмана и связано с измерением температурного градиента, определением тепловых потоков и анализом граничных условий. Толщина стенки огневого днища исследуемой цилиндрической крышки дизеля 6RD76 мала по сравнению с диаметром конической оболочки $d_1/d_2 = 1,1-1,2$; поэтому её допустимо рассматривать как плоскую стенку. Изменением температуры вокруг точек измерения по окружности конической части можно пренебречь и считать тепловой поток одномерным.

Согласно закону Фурье, количество теплоты dQ_τ (Дж), проходящей через элемент изотермической поверхности dF (m^2), за промежуток времени $d\tau$ (с), пропорционально температурному градиенту dt/dn

$$dQ_\tau = -\lambda \frac{dt}{dn} dF d\tau, \quad (1)$$

где λ – коэффициент теплопроводности среды, Вт/($^{\circ}C \cdot m$);

Общее количество теплоты составляет

$$Q_\tau = -\int_0^\tau \int_F \lambda \frac{dt}{dn} dF d\tau.$$

При расчете конвективного теплообмена между средой и поверхностью используется закон Ньютона-Рихмана

$$dQ_c = \alpha_w (t_2 - t_f) dF, \quad (2)$$

где dQ_c – тепловой поток через теплопроводящую стенку, Вт;

α_w – коэффициент теплоотдачи в охлаждающую среду, Вт/(°С·м²);

t_2 – температура стенки на поверхности охлаждения, °С;

t_f – температура охлаждающей среды, °С.

Совместное решение двух уравнений в предположении стационарного одномерного поля позволяет определить коэффициент теплоотдачи α_w от стенки к охлаждающей среде по уравнению теплоотдачи

$$\alpha_w = -\frac{\lambda}{t_2 - t_f} \left(\frac{dt}{dn} \right)_{n=0}, \quad (3)$$

в виде

$$\alpha_w = -\frac{\lambda}{t_2 - t_f} \frac{(t_1 - t_2)}{\delta}, \quad (4)$$

где t_1 – температура на поверхности нагрева, °С;

δ – толщина теплопередающей стенки, м.

Для исследования влияния нагрузки двигателя на характеристики теплообмена использовались зависимости t_1 , t_2 , $\Delta t/\Delta n$ от частоты вращения двигателя n (мин⁻¹) и $\alpha_w = f(n, \Delta t/\Delta n)$. Большой практический интерес вызывает зависимость t_1 и t_2 от $\Delta t/\Delta n$. В результате измерений обнаруживается практически линейная зависимость t_1 , $t_2 = f(\Delta t/\Delta n)$, что указывает на незначительное изменение отношения α_w/λ при широком варьировании нагрузки малооборотного двигателя. Линейная закономерность не нарушается при изменении условий воздухообмена двигателя и «утяжелении» винтовой характеристики в штормовых условиях. Любое изменение гидрорежима (расхода жидкости, схемы подвода) вызывает отклонение угла наклона и смещение зависимости с сохранением линейности в новых условиях. Выявленная закономерность позволяет по ограниченному числу точек получить зависимости для графоаналитической оценки изменения условий теплообмена при исследованиях.

Охлаждение крышки цилиндра дизеля 6RD76 организовано вводом в полость воды через два патрубка, которые направляют поток в плоскость нос (Н) – корма (К). В плоскости правый борт (П) – левый борт (Л) ввода воды нет.

Исследования огневого днища цилиндрической крышки показали, что в диапазоне эксплуатационных нагрузок изменения α_w составляли до 25%. Установлено, что с увеличением нагрузки α_w возрастает. Однако прирост α_w по периметру огневого днища цилиндрической крышки происходит с различной интенсивностью. В точках измерений, имеющих низкую температуру, при турбулизации струи уменьшается влияние теплового потока на α_w . Следовательно, при большом числе Рейнольдса влиянием теплового потока на α_w можно пренебречь и наоборот с уменьшением скорости потока степень влияния q на α_w возрастает.

В результате термометрических исследований цилиндрических крышек дизеля 6RD76 выявлены высокие уровни температур, достигающие 420-470 °С, а также значительная асимметрия теплового потока в плоскостях П-Л и Н-К. Штатная система подвода жидкости в плоскости Н-К активизирует теплообмен в этой плоскости. Однако тепловой поток в ней меньше, чем в плоскости П-Л, в результате чего асимметрия температурного поля огневого днища цилиндрической крышки достигает 120 °С.

В эксперименте исследовался вариант охлаждения цилиндрической крышки дизеля 6RD76 с перестановкой водяных патрубков из штатного положения с зонами турбулизации «нос» и «корма» на 90°. Характер температурного поля принципиально изменился – произошло смещение максимальных и минимальных температур на 90°, но среднеарифметическая температура t_{cp} осталась без изменения. В областях (Н, К), где наблюдали эффект турбулизации, коэффициент теплоотдачи α_w понизился на 15%, в зонах (Л, П) где повысилась турбулизация потока, α_w вырос на 12-14% (см. рисунок). Некоторая разница в изменении α_w объясняется неравномерностью теплового потока. Асимметрия температуры огневого днища

ща на газовой стороне уменьшилась до 20 °С. Следовательно по характеру распределения температуры при одинаковой средней температуре стенки данный вариант расположения водяных патрубков более благоприятен, чем штатный. Характер распределения α_w по периметру охлаждаемого днища крышки цилиндра показан на рисунке.

Следующий пункт исследования – увеличение количества вводов жидкости до четырёх с целью турбулизации охлаждающей воды в зонах Н, К, П, Л. В эксперименте устанавливались четыре патрубка диаметром $d = 35$ мм (4×35 мм), имеющие расход жидкости равный штатному. С разделением потока жидкости на четыре ввода выравниваются условия гидрорежима на поверхности охлаждения, вследствие чего температура t_2 в точках измерений различается незначительно на 10-15 °С. Однако выравнивание условий теплоотдачи при ассиметричном теплоподводе не обеспечивает равномерности температуры на газовой стороне крышки, хотя ассиметрия в этом случае уменьшается до 60-66 °С. В областях турбулизации жидкости наметилась тенденция к выравниванию α_w . Хотя максимальное значение α_w в плоскости Н-К несколько меньше, чем в плоскости П-Л (см. рисунок), что объясняется неравномерностью теплоподвода. Средний коэффициент теплоотдачи α_{wcp} по периметру огневого днища остается без изменения.

Таким образом, на α_w в зонах между патрубками и средний по периметру детали коэффициент теплоотдачи α_{wcp} не влияет число вводов жидкости при одинаковом суммарном сечении патрубков. При равномерно распределённом на поверхности крышки тепловом потоке места ввода жидкости не могут изменять максимальных значений температуры и напряжения. При ассиметричном поле тепловых потоков от положения турбулизирующих патрубков зависит распределение температуры по газовой, охлаждающей поверхности и значение температурного напряжения. При установке по аналогичной схеме четырёх патрубков большего размера $d = 40$ мм (4×40 мм) несколько увеличился расход охлаждающей жидкости, однако на величину и характер изменения температурного поля, а также α_w увеличение размера патрубков не повлияло.

С установкой в направляющие патрубки сопел при одинаковом расходе жидкости растёт кинетическая энергия струи и скорость вращения потока. В варианте с двумя патрубками $d = 50$ мм (2×50 мм) и турбулизацией потока в плоскости П-Л в направляющие патрубки устанавливались сопла диаметром $d = 40$ мм. Также четыре сопла $d = 32$ мм устанавливались в вышеописанный вариант с четырьмя патрубками по 40 мм.

В варианте с патрубками 4×40 мм и установленными в них соплами $d = 32$ мм скорость струи возрастала на 40%, при неизменном расходе жидкости. Значение α_w в каждой точке измерений рассчитывалось как среднеарифметическое на режимах эксплуатационных и повышенных нагрузок. Увеличение коэффициента теплоотдачи составляло 15-20% во всех точках измерений как в зонах с турбулизацией, так и в общем потоке (см. рисунок). Температура стенок огневого днища с газовой стороны понизилась на 35-60 °С. Со стороны охлаж-

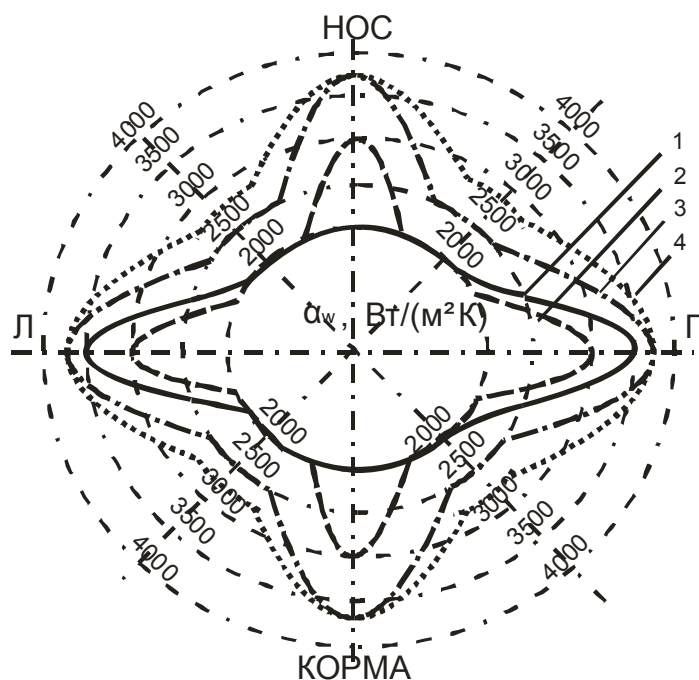


Рисунок – Этюры изменения коэффициента теплоотдачи по окружности охлаждаемого днища крышки цилиндра дизеля 6RD76: 1-вариант поворота на 90° штатных патрубков 2×50 мм; 2-вариант с патрубками 4×35 мм; 3-вариант с патрубками 4×40 мм и соплами в них; 4-вариант с патрубками 4×40 мм, соплами и направляющими лопатками

дения в среднем на 25 °С.

Использование сопел как средства увеличения кинетической энергии потока жидкости позволяет эффективно интенсифицировать теплообмен в объёмных полостях охлаждения цилиндрических крышек дизелей типа RD, повысить надёжность их работы.

В варианте с патрубками 4×40 мм и установленными в них соплами $d = 32$ мм для сохранения турбулизации потока по периметру полости устанавливали направляющие лопатки. Прямолинейно направленные струи из патрубков, попадая во вращающийся поток, движутся в направлении внешней стенки полости. Направляющие лопатки способствуют удержанию потока вблизи поверхности после контакта струи с конической стенкой крышки. За счёт выравнивания условий гидрорежима асимметрия температуры на стороне охлаждения составила, лишь 7 °С. Между патрубками уменьшение температуры поверхности огневого днища на стороне охлаждения составило до 20 °С, с газовой стороны до 40 °С. Произошло выравнивание α_w по периметру охлаждаемой поверхности (см. рисунок). Средний коэффициент теплоотдачи увеличился на 15%.

В результате приведённых исследований установлено, что условиям лучшей компенсации неравномерности теплового потока соответствует вариант с перемещением двух штатных вводов на 90° к зонам максимального теплового потока. Для максимального уменьшения температур огневого днища и соответственно минимизации температурной асимметрии целесообразно использовать вариант охлаждения с четырьмя патрубками $d = 40$ мм и соплами $d = 32$ мм, а также направляющие поток лопатки установленные между патрубками. Крышки цилиндров исследуемых двигателей доказали эффективность модернизации их охлаждения в суровых эксплуатационных условиях.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *цилиндрическая крышка, охлаждение*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Векслер Юрий Евсеевич, ст. научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 6ДКРН45/120-7

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

В.Н. Кучеров, М.В. Флорианская, Т.С. Шевченко

THE MODERNIZING OF DESIGN AND REPAIRABILITY OF CYLINDER LINERS OF ENGINE 6L45GFCA

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

V.N. Kucherov, M.V. Florianskaya, T.S. Shevchenko

Possibility recreating repair with modernisation top radial space of cylinder liner of diesels 6L45GFCA.

Изложены возможности восстановительного ремонта с модернизацией верхнего пояса цилиндрической втулки дизеля 6ДКРН45/120-7.

Главные двигатели (ГД) 6ДКРН45/120-7 (6L45GFCA) построены по лицензии фирмы MAN B&W и относятся к числу длинноходовых форсированных дизелей современного конструктивного исполнения. Длительная эксплуатационная мощность составляет 3960 кВт при частоте вращения $n = 170$ мин⁻¹; отношение хода поршня к диаметру цилиндра $S/D = 2,67$; среднее индикаторное давление $p_i = 1,32$ МПа [1]. Двигатели работают как на тяжёлом, так и на лёгком топливе, обладают хорошими технико-экономическими показателями и широко используются на судах торгового и рыбодобывающего флота Дальневосточного бассейна, но эффективность их эксплуатации ограничена значительной теплонапряженностью деталей цилиндро-поршневой группы (ЦПГ).

Основным недостатком этих двигателей оказалась низкая работоспособность цилиндрических втулок и соответственно работающих вместе с ней в паре трения поршневых колец и канавок поршня. Проведенный анализ работоспособности цилиндрических втулок на пяти танкерах типа «Вентспилс» показал, что максимальные износы наблюдаются в основном в плоскости «борт-борт» в районе остановки первого и второго поршневых колец в ВМТ и остаются значительными по высоте в пределах всего комплекта колец. Ниже комплекта колец на расстоянии 230-350 мм от верхнего торца втулки износы уменьшаются в 8-10 раз. В край-

не редких случаях отмечается равное изнашивание в обеих плоскостях измерения по окружности. Разность в износах по окружности, создающая эллиптичность, достигает 0,5-1,0 мм по мере приближения абсолютного износа к 3,0 мм.

В результате эллиптичность является браковочным показателем и вынуждает срочно менять втулку из-за частых прорывов газов и возгораний в подпоршневых полостях. По укрупненным данным только шесть цилиндрических втулок из тридцати имели скорость изнашивания в допустимых пределах (0,06-0,08 мм/тыс. ч), на остальных он существенно выше и составляет в среднем 0,17 мм/тыс. ч.

Отмеченные особенности делает привлекательным восстановительный ремонт втулки с заменой только ее верхней части. Конструктивно замена упрощается тем, что втулка имеет массивный верхний бурт. В верхнем бурте штатной втулки имеются наклонные тангенциальные сверления для её охлаждения (рисунок 1а). По заданию ОАО «Приморское морское пароходство» был разработан и утверждён морским Регистром судоходства проект восстановительного ремонта цилиндрической втулки двигателя 6ДКРН45/120-7 с заменой ее верхней части (см. рисунок 1б).

Термометрические исследования, проведённые на цилиндрической втулке главного двигателя танкера «Ванино» при его эксплуатации показали значительную несимметричность температурного поля по окружности втулки на различных режимах работы двигателя. Максимальные температуры наблюдались на стороне правого борта, а минимальные на стороне левого борта. Разность значений температур по бортам достигала 40 °С в районе остановки первого поршневого кольца в верхней мёртвой точке. Экспериментальные исследования показали, что критическая температура 200 °С на зеркале цилиндра со стороны правого борта под первым поршневым кольцом достигается при нагрузке $0,8N_{нн}$. В штатном варианте охлаждающие отверстия имеют постоянный шаг и это не позволяет избавиться от характерной для этих двигателей асимметрии температурного поля. Для оптимизации и выравнивания температурного поля на зеркале цилиндра по высоте и окружности были применены короткие наклонные сверления с переменным по окружности шагом (см. рисунок 1б).

Расчетные исследования теплового и напряженно-деформированного состояния штатной и модернизированной втулки производились методом конечных элементов (МКЭ) Учитывая, что геометрия и характер нагружения втулки температурными, механическими от сил давления газов, а также монтажными усилиями близок к осесимметричному, то расчёты проводились также в осесимметричной, упругой постановке [2]. Температурные напряжения (см. рисунок 2а) как на огневой стороне, так и со стороны охлаждения не вызывают опасений и мало отличаются от напряжений в штатной втулке. Механические (см. рисунок 2б) и монтажные напряжения из-за существенной толщины втулки также не вызывают опасений. Монтажные напряжения несколько удалось снизить из-за уменьшения плеча прикладываемого усилия затяжки шпилек. Наиболее опасным и ответственным местом конструкции является галтель I в месте разъёма верхней и нижней частей втулки. Уменьшить уровень напряжений в этой зоне удалось за счёт оптимизации формы галтели. Анализ полного тензора напряжений для этой зоны показал, что суммарные эквивалентные напряжения с учетом перечисленных нагрузок

$$\sigma_{\Sigma} = \sigma_i^t + \sigma_i^m + \sigma_i^{p_z} = 83,0 + 28,7 + 6,1 = 117,8 \text{ МПа,}$$

где σ_i^t – эквивалентные температурные напряжения;

σ_i^m – эквивалентные монтажные напряжения;

$\sigma_i^{p_z}$ – эквивалентные напряжения от сил давления газов в цилиндре,

и это говорит о правомерности предложенной модернизации.

Расчёт позволил задать обоснованный зазор между составными частями втулки в зоне контакта II с учётом температурных и монтажных нагрузок

$$\sum \Delta r = \Delta r^t + \Delta r^m = 0,48 + 0,067 = 0,547 \text{ мм.}$$

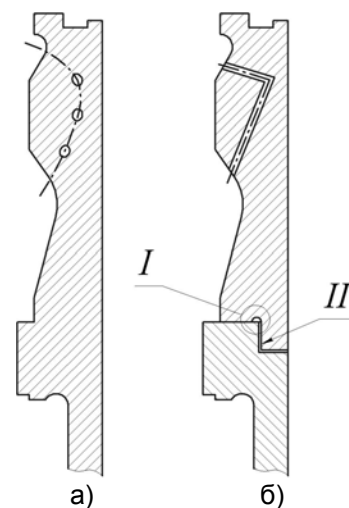


Рисунок 1 – Геометрия штатной (а) и модернизированной (б) втулок двигателя 6ДКРН45/120-7

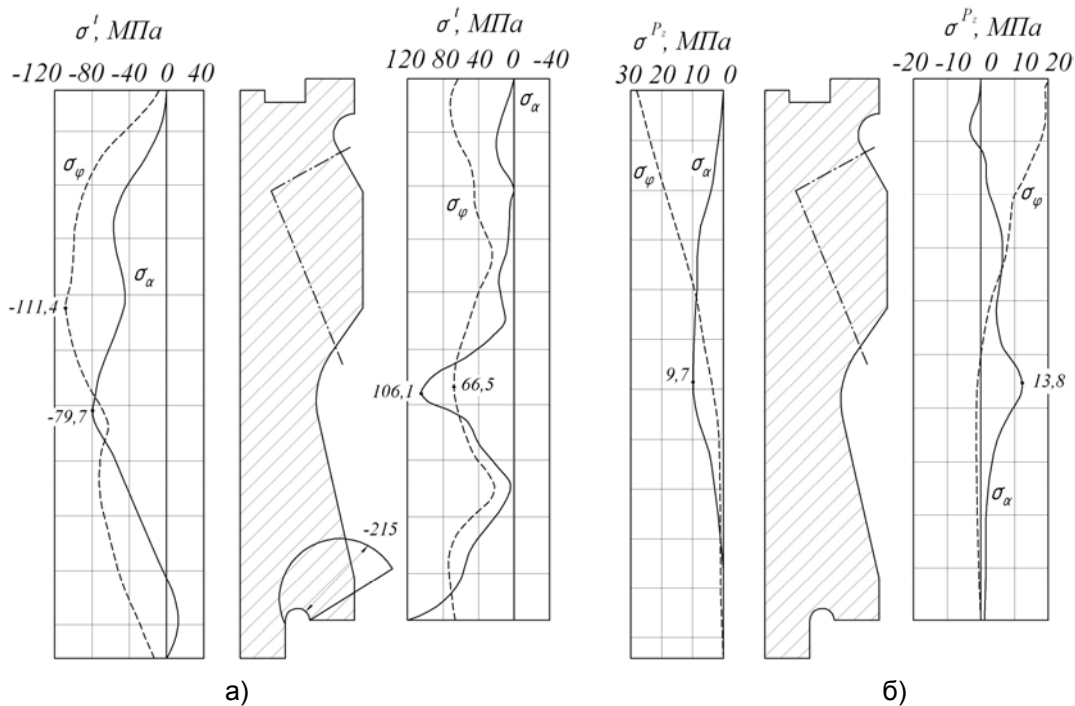


Рисунок 2 – Температурные σ^t (а) и механические σ^{Pz} (б) напряжения для модернизированной цилиндрической втулки двигателя 6ДКРН45/120-7

Таким образом, тепловое состояние модернизированной втулки отличается благоприятным уровнем температур зеркала цилиндра с запасом по стабильности масляной пленки на режимах с утяжелённой винтовой характеристикой. Незначительный перепад температур по высоте втулки обеспечивает минимальные деформации и искажение геометрии цилиндра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шишкин, В.А. Анализ неисправностей и предотвращение повреждений судовых дизелей / В.А. Шишкин. -М.: Транспорт, 1986. -192 с.
- 2 Шабров, Н.Н. Метод конечных элементов в расчётах деталей тепловых двигателей / Н.Н. Шабров. -Л.: Машиностроение, 1983. -212 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: цилиндрическая втулка, напряжение, модернизация, конструкция
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кучеров Владимир Никанорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
 Флорианская Мария Васильевна, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
 Шевченко Тарас Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

НОВЫЕ ТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ ФИЛЬТРОВ СИСТЕМ ТОПЛИВО- И МАСЛОЧИСТКИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов

A NEW CLOTH MATERIALS FOR SELF REGENERATING FILTERS OF FUEL AND OIL CLEANING OF SHIPS PROPULSION INSTALLATION

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»
 G.P. Kicha, G.G. Galstyan, V.V. Tarasov

Reporting about results of producing cloth filtering materials for cleaning technical fluids by self-regenerating filters. There are show geometric and general characteristics of knitmes pad with waving binding optimizing structure. Given equaling with other waves materials.

Сообщается о результатах разработки тканых фильтровальных материалов для очистки технических жидкостей саморегенерирующимися фильтрами. Представлены геометрия и основные характеристики фильтровальных сеток полотняного переплетения оптимизированной структуры. Проведено сравнение их с другими ткаными материалами.

В последнее время для очистки горюче-смазочных материалов (ГСМ) на судах все чаще применяют саморегенерирующиеся фильтры (СРФ). Эти очистители способны работать в автоматизированном режиме без «ручной» чистки фильтрующих элементов (ФЭ) в течение длительного времени. Механизация и автоматизация процесса регенерации ФЭ выдвинули более жесткие требования к фильтровальным материалам (ФМ) СРФ. При высокой пропускной способности и эффективности отсева они должны хорошо регенерироваться, не забиваться отложениями на тяжелых режимах функционирования, иметь длительный ресурс работы между химическими чистками ФЭ фильтра.

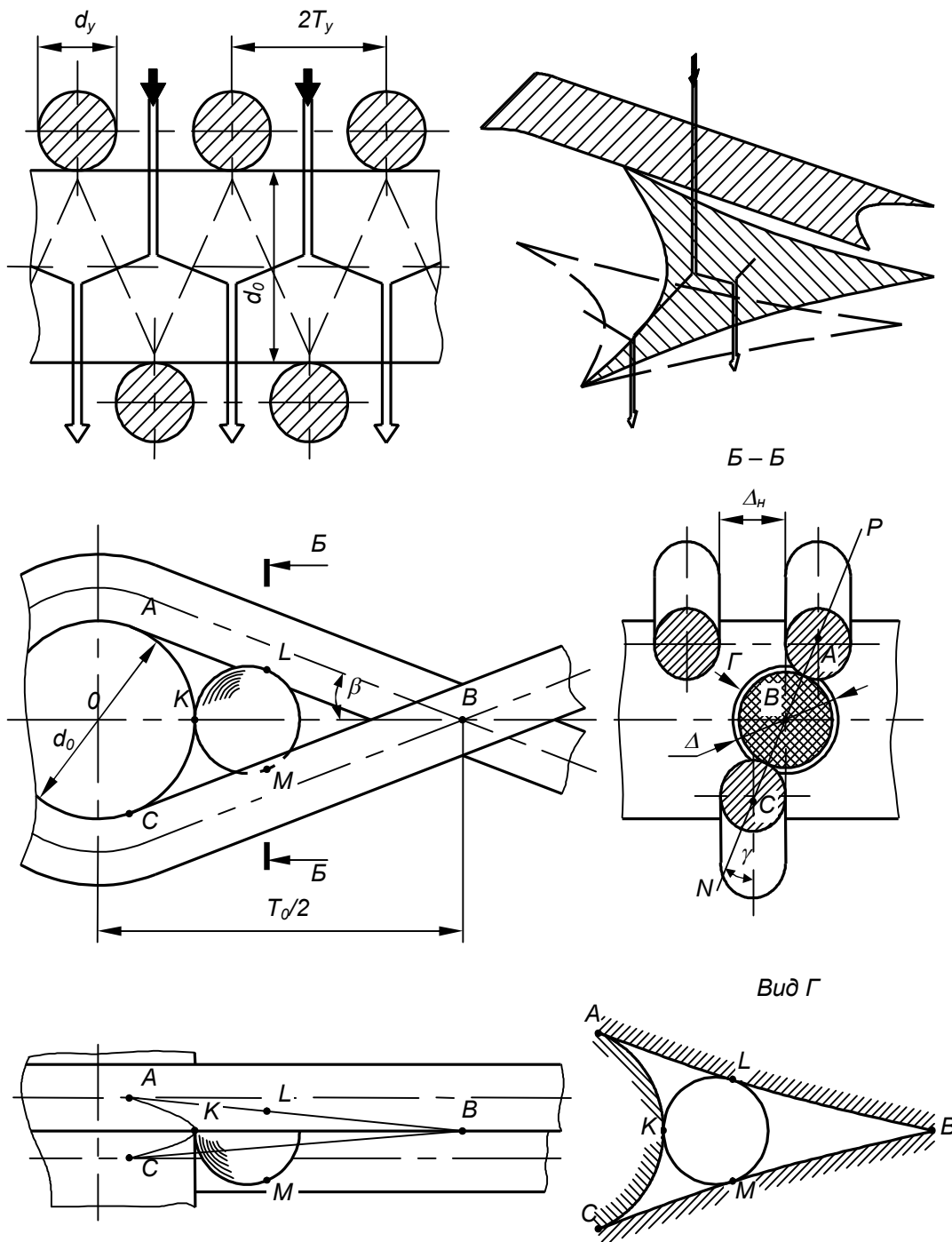


Рисунок 1 – Геометрия новых сеток полотняного переплетения

Разработанная стохастическая теория очистки ГСМ [1] позволила выявить основные задерживающие механизмы и закономерности фильтрования и способы управления ими. Моделирование структуры тканых материалов показало возможность не только принять на основе предложенных методов расчета фильтрования компромиссные наиболее выгодные решения при их совершенствовании, но и повысить эффективность ФМ по исключаящим друг друга показателям: тонкости и полноте отсева, грязеемкости, регенерируемости, продолжительности необслуживаемой работы.

Для СРФ особый интерес представляют фильтровальные сетки (ФС), так как они обладают высокой прочностью и хорошо регенерируются, способны работать при различных законах фильтрования. Путем изменения формы переплетения, оптимизации геометрии и структуры тканых ФМ можно при очистке ГСМ от механических примесей перейти от закона фильтрования с закупоркой пор к законам – промежуточному и с образованием осадка, при которых часть отложений накапливается на поверхности сетки. В этом случае значительно улучшается грязеемкость и регенерируемость ФМ, уменьшаются затраты на фильтрование и промывку, повышаются надежность и качество работы фильтровальной установки.

Разработка новых тканых ФС полотняного переплетения с расположением проволок утка вплотную и регулированием параметров геометрии сеток выбором оптимальных диаметров проволок утка и основы, шага основы дала возможность получить ФМ с высокими функциональными свойствами.

Геометрия ФС полотняного переплетения (см. рисунок 1) определяется шагом основы T_0 , диаметрами основной d_0 и уточной d_y проволок. Суспензия фильтруется через наружный задерживающий участок в виде прямоугольника. Далее поток разветвляется и проходит через два внутренних задерживающих участка, поперечное сечение которых имеет форму криволинейных косолежащих треугольников ABC.

Абсолютную тонкость отсева Δn наружного фильтрующего участка найти несложно: она равна диаметру уточной проволоки. Тонкость отсева внутренних задерживающих участков Δ формируется двумя скрещивающимися нитями утка и проволокой основы. Достаточно точное определение диаметра наибольшего шара, способного проникнуть через внутреннюю пору сложной пространственной структуры, методами Евклидовой геометрии затруднено. Для расчета Δ применены методы дифференциальной геометрии. Они обеспечивают не только высокую точность расчета, но и более простое выражение для тонкости отсева.

Определение диаметра наибольшего шара, проникающего в фильтрат, построено на концепции нахождения методами дифференциальной геометрии точек K, L, M касания шара цилиндров основы и утка. Геометрическое место точек, формирующих наиболее узкое сечение канала, через которое пройдет шар с $d = \Delta$, лежит в плоскости KLM . Исходя из особенностей геометрии ФС, целесообразно рассмотрение задерживающей способности внутреннего канала через эффективность фильтрования суспензии порой в самом узком ее сечении, образованном криволинейными треугольниками ABC в пл. PBN (см. рисунок 1).

Моделирование и оптимизация ФС позволили выделить показатели геометрии и структуры, определяющие их эксплуатационные свойства. От формы внутренних поровых каналов сеток зависит их пропускная способность, регенерируемость и грязеемкость. С уменьшением коэффициента формы порового канала число пор на единице поверхности, регенерируемость и грязеемкость ФС повышаются, гидравлические свойства и пористость ухудшаются.

Результаты исследования структуры ФС позволили разработать принципы повышения эффективности сеток полотняного переплетения:

- формирование с целью повышения полноты и стабильности тонкости отсева геометрической структуры сеток, обеспечивающей двухступенчатое последовательное фильтрование суспензий наружным и внутренним задерживающими участками;
- разрешение противоречия между полнотой отсева и грязеемкостью, пропускной способностью и регенерируемостью ФС при фильтровании крупнодисперсных загрязнителей путем оптимизации геометрических параметров сеток за счет перераспределения эффективности наружного и внутреннего задерживающих участков, усиления роли и повышения грязевой нагрузки наружного участка;
- приближение самого узкого участка сечения порового канала к поверхности ФМ и увеличение числа поровых каналов на единице его поверхности при фильтровании суспензий с повышенным содержанием крупных частиц, соизмеримых с тонкостью отсева сетки;

– применение структур с доминирующей ролью внутреннего задерживающего участка при фильтровании тонкодисперсных суспензий, имеющих дисперсную фазу с высокими адгезионными свойствами, и наружного при фильтровании грубодисперсных суспензий, образующих на ФМ осадок высокой пористости;

– перераспределение функциональных характеристик ФС, достигаемое варьированием параметров их геометрии за счет усиления главных свойств, а также использование для СРФ топливных и смазочных систем судовых энергетических установок материалов с регулярной поровой структурой.

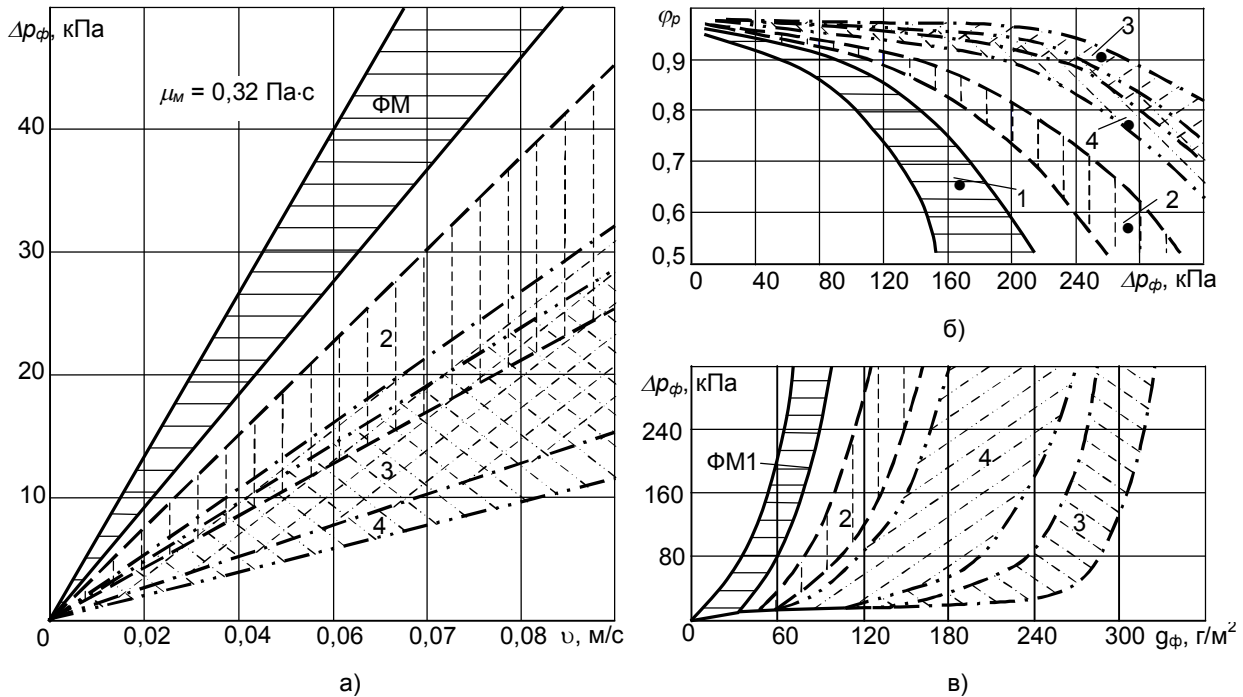


Рисунок 2 – Гидравлические (а), регенерационные (б) и задерживающие (в) характеристики тканых ФМ

Представляет интерес сравнение ФС различных классов, значительно различающихся по конструктивному исполнению (рисунок 2). Рассмотрены проволочные тканые ФС саржевого (ФМ1) и полотняного переплетения (ФМ2-ФМ4) с тонкостью отсева 20-50 мкм. Сетки полотняного переплетения представлены структурой с внутренним и наружным задерживающими участками, выполненными по ГОСТ 3187-76 (ФМ4) и в соответствии с разработками авторов статьи (ФМ3). Испытанию подвергались также лучшие ФС зарубежного производства соответствующих классов [2]. В качестве базы сравнения взята сетка (ФМ4) полотняного переплетения с квадратными ячейками (ФСКЯ), изготовленная по требованиям ГОСТ 6613-86 и 3584-79.

Сравнение осуществлялось по гидравлическим характеристикам, регенерируемости и грязеемкости. Наиболее полого зависимость $\Delta p_\phi(v_\phi)$ у сетки ФМ4 с квадратными ячейками, наихудшая – саржевого переплетения (ФМ1). По гидравлической характеристике ФС оптимизированной структуры типа ОПВ и ПН (ФМ3) несколько уступают ФСК(П)Я (см. рисунок 2а). Сетки ФМ полотняного переплетения самой распространенной геометрии [2] по гидравлическим свойствам занимают промежуточное положение между сетками саржевого переплетения и ткаными ФМ класса ОПВ и ПН.

Восстанавливающая способность сеток (по гидравлике) при удалении с них загрязнений обратным потоком фильтруемой жидкости определялась коэффициентом регенерации ϕ_p (см. рисунок 2б). Для естественного загрязнителя (продуктов фильтрования моторного масла) при стандартном режиме промывки со скоростью потока $v_p = 0,12 \text{ м/с}$ восстанавливающая способность ФМ3 и ФМ4 практически одинакова. Наихудшие результаты по зависимости $\phi_p(\Delta p_\phi)$ у ФМ1. Особенно значительно ухудшается восстанавливаемость гидравлических характеристик ФС при их загрязнении отложениями g_ϕ , когда Δp_ϕ более 0,12 МПа.

Изменение перепада давлений на сетке по мере накопления на ней отложений $\Delta p_{\phi}(g_{\phi})$ показано на рисунке 2в. Эта характеристика наиболее выигрышна у ФМЗ. По грязеемкости тканые ФМ можно расположить в ряд в той же последовательности, что и при сравнении их по регенерируемости. При достижении перепада давлений 0,1 МПа грязеемкость ФМ ряда 1-2-4-3 находится в пропорции 22:40:70:100.

Сравнение рассматриваемых ФС по гидравлическим и прочностным свойствам, грязеемкости, регенерируемости и стоимости осуществлено по частным и обобщенному показателям (таблица) при допущении равнозначности каждого и них. При анализе выявлено, что по обобщенному показателю предложенные оптимизированные ФС имеют неоспоримые преимущества: у них самая высокая грязеемкость и регенерируемость, умеренная стоимость, высокая пропускная способность и прочность. Сетки этого класса несколько уступают ФСКЯ по пропускной способности, но значительно превосходят их по прочности, которая у ФС полотняного переплетения к тому же регулируема. ФМ этого класса универсальны. Они могут эффективно использоваться как в СРФ, так и в очистителях с немеханизированным удалением осадка, допускают фильтрование и промывку обратным потоком при скорости фильтрования в 4-10 раз более высокой, чем у ФСКЯ.

Таблица – Характеристики проволочных фильтровальных сеток, %

Показатель	саржевого переплетения	ГОСТ 3187-76	оптимизированной структуры	с квадратными ячейками, ГОСТ 3584-79
Прочность	100*	68	81	20
Пропускная способность	34	65	85	100*
Грязеемкость	29	48	100*	76
Регенерируемость	48	83	100*	98
Стоимость	68	100*	78	57
Обобщенный показатель	63	82	100*	79

*-за 100% принято самое высокое значение показателя

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кича, Г.П. Теоретические основы расчета и интенсификации очистки топлив и масел в ДВС фильтрование / Г.П. Кича // Двигателестроение. -1986. -№5. -С. 25-29.

2 Dunn, A.R. Selection of wire cloth for filtration and separation / A.R. Dunn // Filtration and Separation. -1980. -Vol.17, №10. -P. 437-451.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тканый фильтровальный материал, фильтровальная сетка, фильтрующий элемент, очистка топлив и масел, регенерация фильтрующих элементов, регенерирующийся фильтр*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

Галстян Гарик Гагикович, курсант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Тарасов Валерий Васильевич, начальник тренажерного центра ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА СУДОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.О. Соловьева, Ю.И. Ришко, А.М. Барановский

MATHEMATICAL MODEL OF THE ELASTIC ELEMENT OF SHIP PROTECTION AGAINST VIBRATION

«Novosibirsk state academy of water transport»

L.O. Solov'eva, Yu.I. Rishko, A.M. Baranovskij

Mathematical modelling is executed.

Выполнено математическое моделирование.

В качестве упругого элемента виброизолирующих систем судовых энергетических установок используют витые пружины различной формы [1]. Целью исследования в данной ста-

тье является выбор оптимальной математической модели для расчета частоты собственных колебаний витых цилиндрических пружин круглого сечения.

При проектировании виброизолирующей конструкции необходимо произвести расчет частот собственных колебаний (СЧК) упругой системы. Анализируя природу возникновения собственных колебаний, заметим, что это гармонические колебания, частота которых зависит от массы и податливости (жесткости).

Существующие методики [2] расчета собственных частот колебаний упругих элементов не распространяется на витые пружины, но могут быть взяты за основу.

В работе [3] предложена методика расчета собственной частоты пружины. Здесь за основу взята динамическая модель в виде эквивалентного упругого стержня, работающего на растяжение или сжатие. При этом выполняются условия замены сил инерции статической нагрузкой, при равных частотах малых колебаний независимо от амплитуды, а приложенная нагрузка, пропорциональна сжатию или растяжению (рисунки 1)

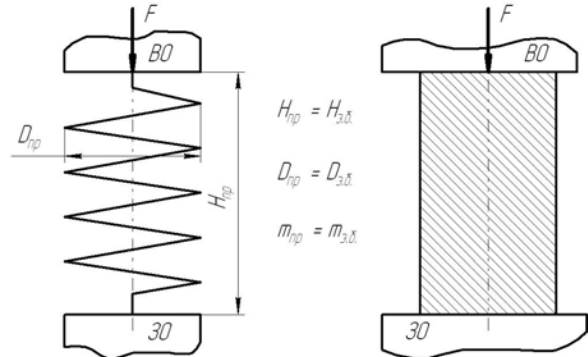


Рисунок 1 – Схема замены для расчета СЧК пружины

Для приведения расчетной пружины к эквивалентному стержню принимаются равные геометрические параметры: высоты приравниваются, диаметр стержня равен среднему диаметру пружины. Для моделирования адекватной схемы расчета приравниваются жесткости пружины и эквивалентного стержня. Жесткость пружины

$$c_{пр} = \frac{Gd^4}{8D^3n}, \text{ Н/м}, \quad (1)$$

где G – модуль упругости (зависит от материала проволоки пружины), Па;
 d – диаметр проволоки пружины, м;
 D – средний диаметр пружины, м;
 n – число рабочих витков пружины.

Жесткость эквивалентного стержня

$$c_{э.с.} = \frac{EA}{L}, \text{ Н/м}, \quad (2)$$

где E – приведенный модуль упругости, Па;
 A – площадь сечения стержня, для стержня круглого сечения,

$$A = \frac{\pi D^2}{4}, \text{ м}^2;$$

L – длина пружины, м.

Для расчета приведенного модуля упругости эквивалентного стержня и сохранения условия аналогии приравниваются жесткости

$$E = \frac{1}{2} G \frac{d^4}{D^5 n \pi} L. \quad (3)$$

Так как аналогия сохраняется и приложенная нагрузка пропорциональна прогибу стержня, то форма колебаний пружины и эквивалентного стержня одинаковы, делается вывод о равенстве собственных частот колебаний первого тона.

Квадрат собственной частоты стержня [4] будет равен

$$\lambda_{э.с.} = \frac{EA\pi}{m'L}, \quad (4)$$

где m' – приведенная масса, кг/м.

Соответственно собственная частота пружины будет равна СЧК эквивалентного бруса с учетом приведенного модуля упругости

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\frac{EA\pi}{m'_{пр}L}}, \quad (5)$$

где $m'_{пр}$ – приведенная масса пружины, кг/м.

$$m'_{пр} = m_{пр}/L; \quad (6)$$

$$m_{пр} = A_{пр} \ell \rho n ; \quad (7)$$

где $A_{пр}$ – площадь сечения проволоки пружины, m^2 ;

ℓ – длина витка, м;

ρ – плотность материала проволоки пружины, $кг/м^3$,

$$m_{пр} = \frac{\pi d^2}{4} \pi D \rho n . \quad (8)$$

Подставляя выражения (8) в формулу (6) получается, что приведенная масса пружины равна

$$m'_{пр} = \frac{\pi^2 D d^2 \rho}{4L} n .$$

Окончательная формула для расчета собственной частоты колебаний пружины будет выглядеть следующим образом

$$\lambda_{пр} = \sqrt{\frac{Gd^2}{2D^4 n^2 \rho}} , \text{ рад/с.} \quad (9)$$

Предложим еще одну модель, позволяющую рассчитать собственную частоту колебаний пружины, в основу которой положена аналогия упруго-динамических свойств витой цилиндрической пружины и шарнирно-закрепленной горизонтальной балки.

Для разъяснения предпосылок к такому сравнению рассмотрим логику процесса колебаний предложенной динамической модели и пружины (рисунок 2)

На рисунке 2 изображена траектория перемещений пружины и шарнирно закрепленной балки при колебаниях по безузловой форме (когда деформациями от силы инерции можно пренебречь). Массы пружины и балки равны, длина балки принимается равной длине раскрученной пружины. Перемещение Δy синхронно в обеих упругих системах. То есть аналогия колебаний данных моделей оказывается обеспеченной.

В результате колебаний на защищаемый объект (ЗО) со стороны упругого элемента действует динамическая сила инерции равная [5]

$$F_u(t) = \frac{1}{6} m a(t) , \quad (10)$$

где m – масса пружины, кг;

$a(t)$ – переменное ускорение ВО, зависящее от времени t , м/с.

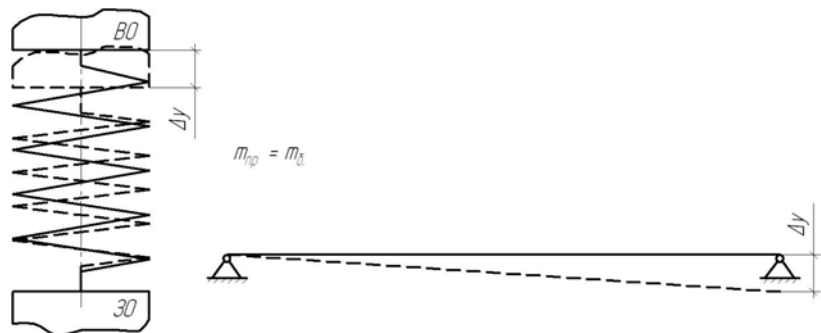


Рисунок 2 – Траектория перемещений пружины и шарнирно закрепленной балки при колебаниях по безузловой форме

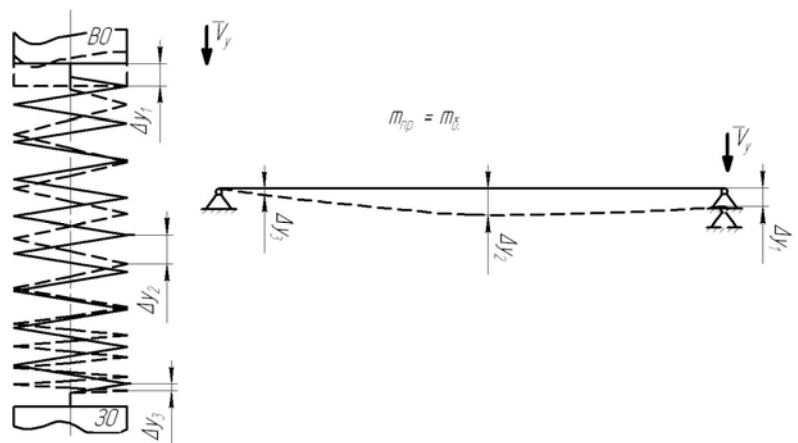


Рисунок 3 – Аналогия форм собственных колебаний пружины и динамической модели

Отметим, что данная модель не может быть использована для расчета частоты собственных колебаний первого и последующих тонов витой пружины, поскольку податливость модели существенно отличается от податливости пружины.

В процессе колебаний пружины и шарнирно закрепленной балки силы инерции элементарных участков пружины равны силам инерции элементарных участков эквивалентной балки, находящихся на равном расстоянии от принятой точки отсчета. Соответственно при равенстве масс пружины и балки, а так же податливостей всех точек в соответствующем на-

правлении ординаты изогнутой оси обоих элементов в резонансе на первой собственной частоте будут равны (рисунок 3).

Представляется справедливым, что для сохранения вышеизложенной аналогии достаточно обеспечить равенство податливостей балки в поперечном направлении и пружины в осевом направлении при одинаковом приложении нагрузки (рисунок 4). Тогда при обеспечении равенства масс балки и пружины, их формы колебаний и соответственно собственные частоты оказываются близкими.

Для обеспечения равенства податливостей двух систем необходимо подобрать соответствующие параметры эквивалентного сечения балки. Так как рассматриваем динамическую составляющую упругих свойств системы, податливость пружины рассчитываем при сжатии

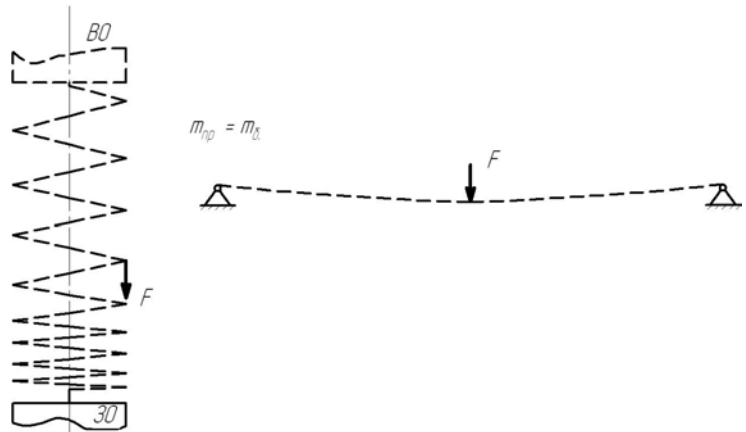


Рисунок 4 – Аналогия форм изогнутой оси при одинаковом приложении нагрузки

$$f_{пр} = \frac{8D^3}{Gd^4} n. \quad (11)$$

Податливость эквивалентного бруса с учетом схемы заделки [4]

$$f_{э.б.} = \frac{L^3}{48EJ} = \frac{4L^3}{3d_{э.б.}^4 \pi}. \quad (12)$$

Приравняем податливости упругих систем

$$\frac{8D^3}{Gd^4} n = \frac{4L^3}{3d_{э.б.}^4 \pi}. \quad (13)$$

Решаем уравнение (13) относительно диаметра эквивалентной балки $d_{э.б.}$

$$d_{э.б.} = \left[\begin{array}{l} \frac{1}{3} 2^{1/4} \frac{3^{3/4}}{DnE\pi} (L^3 G D n^3 E^3 \pi^3)^{1/4} d \\ \frac{1}{3} i 2^{1/4} \frac{3^{3/4}}{DnE\pi} (L^3 G D n^3 E^3 \pi^3)^{1/4} d \\ -\frac{1}{3} 2^{1/4} \frac{3^{3/4}}{DnE\pi} (L^3 G D n^3 E^3 \pi^3)^{1/4} d \\ -\frac{1}{3} i 2^{1/4} \frac{3^{3/4}}{DnE\pi} (L^3 G D n^3 E^3 \pi^3)^{1/4} d \end{array} \right].$$

Решением уравнения являются положительные и действительные корни, то есть

$$d_{э.б.} = \frac{1}{3} 2^{1/4} \frac{3^{3/4}}{DnE\pi} (L^3 G D n^3 E^3 \pi^3)^{1/4} d. \quad (14)$$

Тогда собственную частоту первого тона можно рассчитать по формуле для поперечной балки

$$\lambda_{э.б.} = \sqrt{\frac{E I_{э.б.} \pi^4}{m' L^4}}, \text{ рад/с}, \quad (15)$$

где E – модуль упругости материала при сжатии, Па;

$I_{э.б.}$ – момент инерции эквивалентной балки,

$$I_{э.б.} = \pi d_{э.б.}^4 / 64, \text{ м}^4;$$

m – линейная масса упругой системы, кг/м

$$m = A \rho = \frac{\pi d^2}{4} \rho.$$

Подставляя выражения момента инерции и линейной массы, получаем формулу для расчета собственной частоты колебаний витой цилиндрической пружины первого тона

$$\lambda = \sqrt{\frac{E d_{э.б.}^4 \pi^4}{16 d^2 \rho L^4}}, \text{ рад/с}. \quad (16)$$

Вышеизложенная гипотеза демонстрирует новый подход к расчету собственных частот, однако требует детальной проверки, как экспериментальной, так и численной.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вибрации в технике: справочник: в 6 т. / под ред. В.Н. Челомея. -М.: Машиностроение, 1984. -6 т.

2 Ананьев, И.В. Справочник по расчету собственных колебаний упругих систем / И.В. Ананьев. -М.: ГОСТЕХИЗДАТ, 1946. -224 с.

3 Барановский, А.М. Расчет винтовых пружин в опорах судовых двигателей / А.М. Барановский, А.А. Зуев; под ред. В.П. Горелова // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт: тр. второй МНТК 8-11 сент. 2004. -2004. -Ч.1. -С. 70-73.

4 Писаренко, Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев. -Киев.: Наук. думка, 1988. -736 с.

5 Ришко, Ю.И. К расчету пружины, как элемента, передающего вибрацию / Ю.И. Ришко // Дизельные энергетические установки речных судов: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 1999. -С. 123-127.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическая модель, судовой виброизолятор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Соловьева Лидия Олеговна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Ришко Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ В СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЯХ

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Г.А. Гаук

SUBSTANTIATION OF THE CHOICE OF OPTIMUM CHARCOAL FUMES OF ENGINE OIL BY ECONOMIC CRITERION IN SHIP DIESEL ENGINES WITH AVERAGE TURNS

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

G.A. Gauk

The show results of calculation optimal burning lubricating oil for diesel engines with out parts engine increasing wearing and lubricating oil deterioration.

Приведены методики и результаты расчета оптимального угара моторного масла в судовых дизелях, обеспечивающего достижение минимальных эксплуатационных затрат.

Изменение величины расхода моторного масла на угар g , оказывает различное влияние на износ и ресурс трущихся деталей, компрессию надпоршневого пространства и развиваемую мощность, показатели моторного масла и срок его службы до замены, удельный расход топлива и другие параметры работы дизелей. Степень этого влияния определяется как особенностями конструкции двигателя (тип, количество и эффективность поршневых колец, жесткость деталей цилиндра-поршневой группы), так и условиями его эксплуатации (нагрузочный режим работы, эффективность средств очистки масла и воздуха, качество масла).

Проводимые исследования показали, что снижение расхода масла на угар до оптимального значения в среднеоборотных дизелях не приводит к каким либо существенным отрицательным последствиям (появлению задиров, пригоранию и защемлению поршневых колец, падению развиваемой мощности дизеля и др.). Напротив, зачастую при варьировании величин угара от номинальной до оптимальной отмечается уменьшение износа деталей трения, улучшение частоты поршня, замедление или стабилизация процесса старения смазочного масла, что обеспечивает возможность увеличения срока его службы до замены. Таким образом, снижение расхода моторного масла на угар, проводимое до величины расхода, которая больше или равна оптимальной, позволяет получить экономический эффект за счет сокращения объема потребления смазочных масел и увеличения срока службы дизелей.

Ниже в качестве универсального критерия оптимальности величины g_{opt} принята

удельные затраты C_e (отн.ед.) на эксплуатацию дизеля, потому что отклонение угара масла в любую сторону от g_{opt} неизбежно приведет к ухудшению работы двигателя и увеличению эксплуатационных расходов.

В процессе эксплуатации дизеля в его деталях естественным образом накапливаются повреждения, связанные с постепенным износом трущихся деталей, накоплением многоциклового и малоциклового усталости, кавитационными разрушениями, фреттинг-коррозией и др. Изготовитель, назначая ресурс до переборки или до капитального ремонта дизеля, с достаточной вероятностью гарантирует, что за этот период характеристики наиболее проблемных узлов не достигнут предельно допустимых значений, а увеличение удельного расхода топлива и масла на угар будет незначительным (до 5 %). Фактически за период работы до назначенного ресурса удельный эффективный расход топлива увеличивается на 5-20%, а расход масла на угар в 1,2-2,6 раза, что повышает стоимость эксплуатации. Выполнение переборок (ремонта) приводит эти расходы и стоимость эксплуатации к номинальным значениям, но требует дополнительных затрат.

Определение зависимости $C_e = f(g_y)$ сводится к оценке и суммированию в стоимостном выражении влияния изменения расхода моторного масла на параметры работы конкретного типа дизеля.

Принимая среднюю интенсивность отказов и оплату труда обслуживающего персонала не зависимыми от количества переборок, рассчитаем стоимость эксплуатации дизеля C_e за полный ресурс 40 тыс. ч; расчет выполнен в пересчете на 1 кВт в относительном виде: стоимость двигателя $C_D = 1$ (стоимость 1 кВт мощности двигателя $C_k = 20000$ руб.), стоимость переборки C_{nep} колеблется в пределах 0,08-0,14 [1]

$$C_e = C_D + n \cdot C_{nep} + C_{eT} + C_{eM}, \quad (1)$$

где n – число переборок двигателя.

Затраты на топливо C_{eT} , масло C_{eM} за период эксплуатации вычисляются по следующим формулам:

$$C_{eT} = (n+2) \sum_{\tau=0}^{R_{nep}} \left(g_e + \frac{g_e (K_T - 1)}{\tau_{T,M}} \right) \tau \frac{C_T}{C_K}; \quad (2)$$

$$C_{eM} = (n+2) \sum_{\tau=0}^{R_{nep}} \left(g_y + \frac{g_y (K_M - 1)}{\tau_{T,M}} \right) \tau \frac{C_M}{C_K}, \quad (3)$$

где R_{nep} – ресурс до переборки, ч;

g_e – удельный эффективный расход топлива, кг/(кВт·ч);

g_y – удельный эффективный расход масла на угар, кг/(кВт·ч);

K_T – коэффициент увеличения расхода топлива;

K_M – коэффициент увеличения расхода масла;

τ_s – наработка дизеля при оценке K_T и K_M ;

$\tau_{T,M}$ – ресурс работы двигателя до капитального ремонта, ч;

C_T – цена на топливо за килограмм, руб.;

C_M – цена на масло за килограмм, руб.

Подставляя (2) и (3) в выражение (1) можно записать

$$C_e = C_D + n \cdot C_{nep} + (n+2) \sum_{\tau=0}^{R_{nep}} \left(g_e + \frac{g_e (K_T - 1)}{\tau_{T,M}} \right) \tau \frac{C_T}{C_K} + (n+2) \sum_{\tau=0}^{R_{nep}} \left(g_y + \frac{g_y (K_M - 1)}{\tau_{T,M}} \right) \tau \frac{C_M}{C_K}. \quad (4)$$

В вышеуказанных выражениях $\tau_{T,M}$ соответствует 8000 ч. Это значение является усредненным параметром для среднеоборотных дизелей, который дает возможность достоверно определить K_T и K_M . Основное влияние на C_e оказывает стоимость переборок, номинальный удельный расход масла, коэффициент увеличения расхода топлива и масла, а также качество применяемых горюче-смазочных материалов (ГСМ). Для поддержания эксплуатационных ресурсов на минимальном уровне при оптимальном угаре рекомендовано использование моторных масел с высокоэффективными присадками. Выбор композиции присадок должен проводиться с учетом эффективности, синергизма действия, стоимости и перспектив

промышленного производства их составляющих, а также восприимчивости к углеводородам основы. Унифицированные моторные масла с современными присадками позволяют эффективно использовать в тронковых дизелях средней и повышенной частоты вращения, как это видно из таблицы, низкосортные топлива.

Используя полученную формулу (4) по результатам экспериментального определения влияния изменения величины g_y на состояние дизеля (скорость изнашивания основных деталей и нагарообразование), физико-химические свойства масла, расход топлива и другие параметры, найдем величину оптимального угара масла на примере дизеля 4L20 (4ЧН20/28) фирмы WARTSILA-VASA [2]. Дизель имеет мощность 450 кВт при частоте вращения вала 750 мин⁻¹. Среднее эффективное давление $p_{me} = 2$ МПа, средняя скорость поршня 7 м/с, максимальное давление цикла 15 МПа. Удельный эффективный расход топлива на номинальной мощности составил 200 г/(кВт·ч). Дизель может работать на топливе с вязкостью до 750 сСт при 50 °С. Обычно его эксплуатация ведется на отечественных топочных мазутах 40 В и 100 (ГОСТ 10585-99).

Удельный расход масла на номинальной мощности на новой цилиндро-поршневой группе (ЦПГ) низок и составляет 0,75 г/(кВт·ч). В дизеле с изношенной ЦПГ он доходит до 3,2 г/(кВт·ч). Принимая во внимание, что дизель в принципе рассчитан на использование тяжелых топлив вязкостью до 750 сСт при 50 °С и учитывая тяжелые условия работы моторного масла, смазочная система имеет эффективную систему очистки, включающую полнопоточный фильтр с поверхностными фильтрующими элементами типа Н-15. Кроме того, масло дополнительно байпасно центрифугируется.

Используемый в эксперименте дизель типа VASA20 работал по нагрузочной характеристике. При этом нагрузка на каждом этапе испытаний выдерживалась с точностью до ±8% от среднего ее значения. Угар масла регулировали изменением масляеъемного действия поршневых колец.

Влияние скорости изнашивания дизеля, вызванного варьированием угара по данным [2], на рассматриваемый показатель показано на рисунке 1. За 100% принята скорость изнашивания, наблюдаемая при работе дизеля на приведенных выше ГСМ с угаром 1,5-1,8 г/(кВт·ч). Анализ представленных графиков показывает, что минимальная стоимость эксплуатации зависит от всех факторов и в основном линейно. Причем наиболее значимыми являются коэффициент увеличения расхода масла и стоимость переборки дизеля.

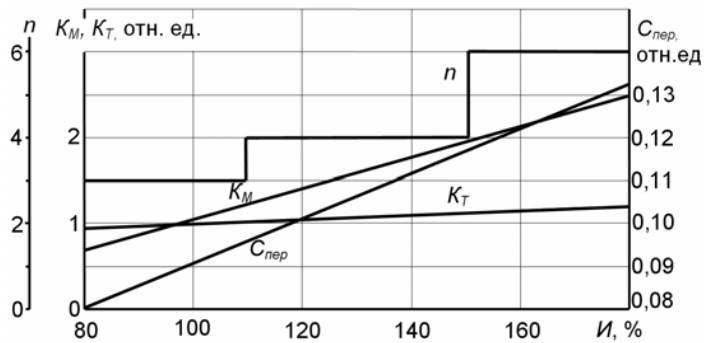


Рисунок 1 – Зависимость $K_M, K_T, C_{пер}$ и n от скорости изнашивания

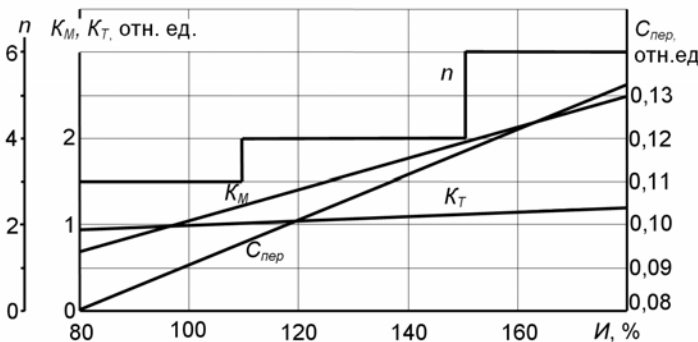


Рисунок 2 – Влияние угара моторного масла на стоимость эксплуатации дизеля

Результаты расчета суммарной величины C_e приведены на рисунке 2, из которого видно, что кривая $C_e = f(g_y)$ имеет явный минимум около 2,6 то есть затраты на эксплуатацию дизеля за весь период службы составляют 2,6 его стоимости. Минимум затрат на эксплуатацию дизеля соответствует общему расходу масла на угар 1,6 г/(кВт·ч).

Характер кривой $C_e = f(g_y)$ и численное значение g_{yopt} — отличительные особенности каждого дизеля, его конструкции и технического состояния, условий его эксплуатации (таблица). На основании выполненных расчетно-экспериментальных исследований можно сделать вывод что, разработана методика определения по экспериментальным данным оптимальной величины расхода масла на угар, по критерию минимума общих затрат на эксплуатацию дизеля.

Эксплуатация более надежных дизелей (с незначительным увеличением расхода топлива и масла), превосходящих первоначальную стоимость менее надежных дизелей в 2 раза, даже без учета интенсивности отказов, позволяет экономить до 20-30% средств.

В связи с изменением значений показателей влияющих на стоимость эксплуатации дизеля (стоимости топлива, масла, ремонтов и технического состояния) целесообразно выполнять расчет по фактическим данным для конкретного объекта.

Представленные результаты позволяют определить стоимость эксплуатации дизеля с погрешностью до 6% только в рамках проводимого исследования и только для цены за 1 кВт 20 000 руб. Более точные расчеты можно произвести для каждого конкретного дизеля.

Таблица – Оптимальный угар моторного масла в судовых дизелях

Дизель	Топливо	Масло	g_{yopt} , г/(кВт·ч)
Vasa20 (6ЧН20/28)	М-40, Ф-12	М10Д ₂ (цл30)	1,6
ЗД6(6ЧСП15/18)	Л-0,2-62	М10В ₂ (с)	1,5
ДГР300/500 (6ЧН25/34)	СМТ	М10Г ₂ (цс)	1,2
ДД102(6ЧСПН18/22)	Л-0,5-62	М10Г ₂ (цс)	1,3
ДД104(8ЧНСП18/22)	Л-0,5-62	М10Г ₂ (цс)	1,2
ДД112 (6ЧСПН18/22)	Л-0,5-62	М10Г ₂ (цс)	1,1
6NVD36A (6ЧН24/36)	СМТ	М10Г ₂ (цс)	1,5
6VD26/20A (6ЧН20/26)	СМТ	М10Г ₂ (цс)	1,4
8NVD48A-2U (8ЧН32/48)	ДТ, Ф-5	М10Д ₂ (цл20)	0,9
5AL25 (5ЧН25/30)	СМТ	М10Г ₂ (цс)	1,2
4R22B (4ЧН22/24)	М-40, Ф-12	М10Д ₂ (цл20)	1,1
5-824TS (5-8ЧН24/31)	М-40, Ф-12	М10Д ₂ (цл20)	1,1
Vasa32 (6ЧН32/35)	М-100	М14Д ₂ (цл20)	1,2
9L28/32A-F (9ЧН28/32)	М-100	М14Д ₂ (цл30)	1,0
6ДР42 (8ЧНРП30/38)	Л-0,2-62	М14Г ₂ (б)	1,4
Г-74 (6ЧРПН36/45)	ДМ, Ф-12	М14Д ₂ (цл30)	1,1
ДРА-3400 (6ЧРН40/48)	ДМ, Ф-12	М14Д ₂ (цл30)	1,1
14ZV40/48 (14ЧН40/48)	М-100	М14Д ₂ (цл30)	1,0
9ZL40/48 (9ДН40/48)	М-100	М14Д ₂ (цл30)	1,1

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лавров, Ю.Г. Экономическое обоснование оптимального ресурса судового дизеля до его переборки / Ю.Г. Лавров // Судостроение. -2005. -№2. -С. 54-57.

2 Гаук, Г.А. Оптимизация угара моторного масла в судовом среднеоборотном дизеле по критерию изнашивания / Г.А. Гаук // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№2. -С. 239-243.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: угар масла, эксплуатационные расходы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Гаук Георгий Александрович, аспирант ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЕЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ 13/14

ОАО «15 Центральный автомобильный ремонтный завод»

Министерства обороны РФ

ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники»

А.А. Селёдкин, А.А. Малозёмов, В.В. Герцев

EFFECIENSY OF COLD START CHARACTERISTICS IMPROVMENTS OF DIESEL ENGINES BY DIMENSION 13/14

«The central automobile repair factory No.15»

«Scientific research institute of autotractor technics»

A.A. Seledkin, A.A. Malozemov, V.V. Gertsev

The outcomes of cold starting trials of diesel engines by dimension 13/14 with different systems of start-up, pre-launch facilities and facilitation of start-up in «climatic» chamber are resultued.

Приведены результаты пусковых испытаний дизелей размерностью 13/14 с различными системами пуска, средствами предпусковой подготовки и облегчения пуска в «климатической камере».

Улучшение пусковых характеристик дизелей различного назначения является важным и актуальным направлением их совершенствования. В настоящее время в составе сельскохозяйственных машин, тракторов, комбайнов, энергоустановок широко применяются надежные

и неприхотливые в условиях эксплуатации двигатели типа 4Ч13/14, 4ЧН13/14, 6Ч13/14 и 6ЧН13/14 производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод». Завод ведет постоянную работу по совершенствованию их технических и эксплуатационных качеств, включая пусковые характеристики, привлекая для этого ведущие НИИ страны.

Для оценки эффективности различных мероприятий по улучшению пусковых свойств дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 в ОАО «НИИ автотракторной техники» (г. Челябинск) были проведены испытания дизелей Д-442И и Д-461И с индивидуальными головками цилиндров в различных вариантах комплектации (в том числе с ТКР и без). На дизелях Д-461И отсутствует декомпрессионный механизм, но увеличена на 40% цикловая подача топлива на пусковых режимах, введен двухступенчатый (двухскоростной) редуктор пускового двигателя. Базовые модели дизелей оборудуются системами пуска с пусковым двигателем, а модели с турбонаддувом системами пуска, как с пусковым двигателем, так и с электростартером (ЭССП). Дизели с электростартерной системой пуска также могут быть оборудованы устройствами электрофакельного подогрева впускного воздуха (ЭФП).

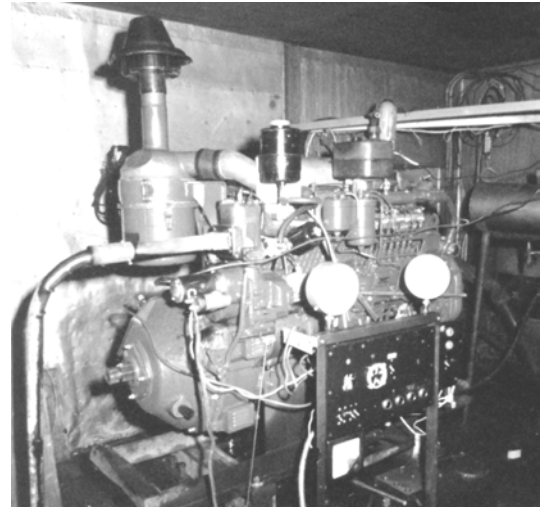


Рисунок 1 – Объект испытаний в «климатической камере»

Проведение пусковых испытаний в условиях окружающей среды крайне неэффективно, так как возможно только зимой при нестабильных температурах воздуха. Проведение испытаний в составе объекта в «климатических» камерах большого объема требует существенных затрат. Поэтому пусковые испытания проводились в «климатической» камере (рисунок 1). «Климатическая» камера (габаритные размеры 5×5×2,7 м, объем камеры, 67,5 м³) обеспечивает минимальную температуру окружающей среды минус 55 °С, максимальная отводимая от объекта испытаний тепловая мощность в условиях теплового баланса – 130 кВт. Объект испытаний помещается на перекатной стеллаж и подсоединяется к измерительным системам. Методика испытаний – по ГОСТ 18509, требования к номинальным пусковым характеристикам – по ГОСТ 20000.

Пусковые характеристики дизелей Д-442И и Д-461И с электростартерной системой пуска приведены на рисунке 2. Их сравнение показывает на более высокие пусковые качества дизеля Д-461И. Дизель Д-461И без применения ЭФП и пускового обогатителя топлива запускается при температуре минус 10 °С, тогда как Д-442И без ЭФП и обогатителя топлива – минус 5 °С. При температуре минус 10 °С дизель Д-442И запускается с применением пускового обогатителя топлива.

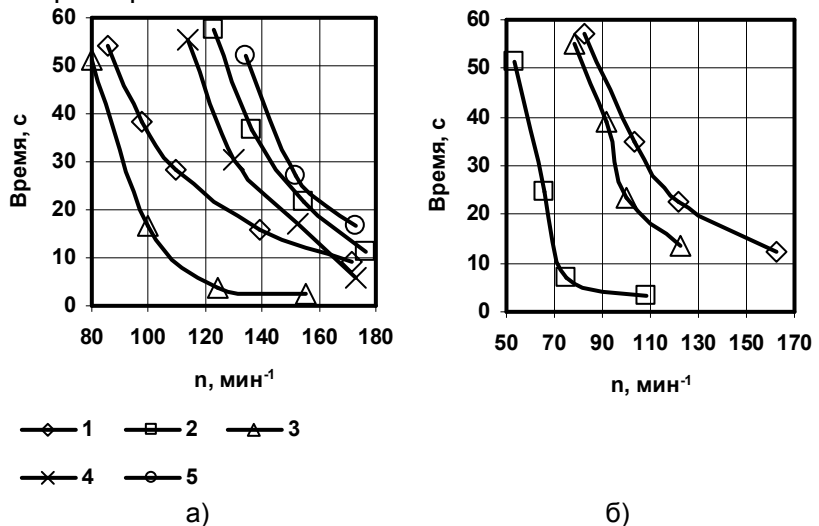


Рисунок 2 – Пусковые характеристики дизелей: а)-Д-442И; 1- $t_0 = -5$ °С без ЭФП и обогатителя; 2- $t_0 = -10$ °С без ЭФП, с обогатителем; 3- $t_0 = -10$ °С с ЭФП; 4- $t_0 = -15$ °С с ЭФП; 5- $t_0 = -20$ °С с ЭФП; б)-Д-461И; 1- $t_0 = -10$ °С без ЭФП и обогатителя; 2- $t_0 = -15$ °С с ЭФП; 3- $t_0 = -20$ °С с ЭФП

С применением ЭФП при температуре минус 20 °С дизель Д-461И запускается при частоте вращения коленчатого вала около 100 мин⁻¹, а дизель Д-442И – при частоте 135 мин⁻¹. Минимальная температура пуска дизелей Д-442И и Д-461И без применения ЭФП составляет минус 10 °С, а с применением ЭФП – минус 15 °С для дизеля Д-442И и минус 20 °С для дизеля Д-461И. Запуск дизеля Д-442И при температуре минус 20 °С обеспечива-

ется при использовании для питания стартера 321.3708 полностью заряженных аккумуляторных батарей.

Анализируя характеристики прокручивания коленчатого вала дизелей, приведенные на рисунке 3, необходимо отметить, что дизель Д-461И при температуре минус 20 °С на масле М4₃/8В₂ прокручивается с частотой 100-110 мин⁻¹, а дизель Д-442И – с частотой 120 мин⁻¹.

Частота прокручивания дизеля Д-442И с ЭССП на маслах М-8Г₂К и М-4₃/8В₂ при температуре минус 10 °С составляет соответственно 225 и 233 мин⁻¹. А при температуре минус 20 °С – 152 и 200 мин⁻¹. При температуре минус 20 °С начало прокручивания коленвала дизелей затруднено даже на масле М-4₃/8В₂ и происходит только после длительной работы пускового двигателя (не менее 4-5 мин. для дизеля Д-442И и не менее 8-10 мин. для дизеля Д-461И) на холостом ходу, которая необходима для его прогрева и подготовки к принятию нагрузки. Применение двухскоростного редуктора в системе пуска дизеля Д-461И облегчает работу пускового двигателя за счет использования замедленной передачи в начальный период прокручивания. После прокручивания коленчатого вала дизеля на замедленной передаче в течение 1,5-2,0 мин. при температуре минус 20 °С пусковой двигатель обеспечивает прокручивание коленчатого вала на ускоренной передаче. На замедленной передаче частота прокручивания коленчатого вала дизеля составляет 80-90 мин⁻¹, а на ускоренной (прямой) передаче при температуре минус 20 °С на масле М8Г₂К – 135 мин⁻¹, на масле М-4₃/8В₂ – 180 мин⁻¹.

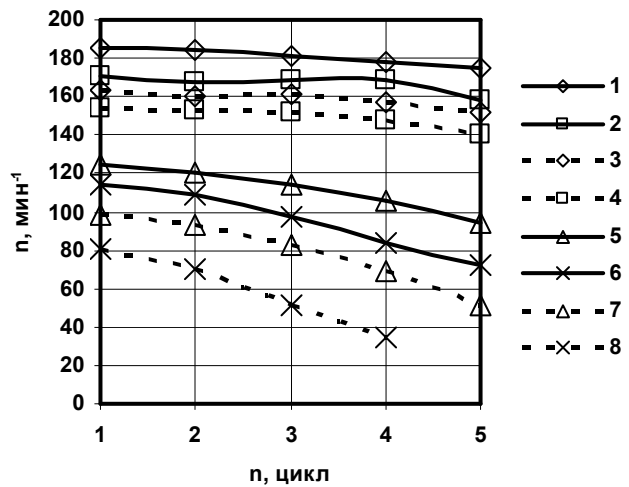


Рисунок 3 – Характеристика прокручивания коленчатого вала дизелей Д-461И (1, 3, 5, 7) и Д-442И (2, 4, 6, 8) на масле М8Г₂К (3, 4, 7, 8) и М₄₃/8В₂ при температуре t₀ = -10 °С (1-4) и t₀ = -20 °С (5-8)

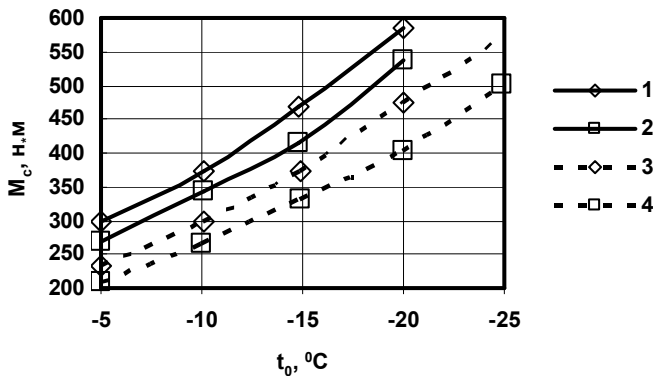


Рисунок 4 – Зависимость момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизелей: Д-461И (1, 3); Д-442И (2, 4); масло М₄₃/8В₂ (1, 2); масло М8Г₂К (3, 4)

Зависимость момента сопротивления прокручиванию коленчатого вала дизелей от температуры показана на рисунке 4. Момент сопротивления прокручиванию дизеля Д-461И на 12-13% выше, чем дизеля Д-442И. Применение маловязкого масла М₄₃/8В₂ позволяет снизить момент сопротивления в среднем на 20%, что, в свою очередь, обеспечивает повышение скорости прокручивания на 16-18%. Кроме повышения скорости прокручивания применение масла М₄₃/8В₂ позволяет уменьшить время задержки появления давления масла в главной магистрали. При температуре минус 10 °С на масле М8Г₂К и при температуре минус 20 °С на масле М₄₃/8В₂ продолжительность задержки появления давления масла в ГММ дизеля Д-461И практически одинакова и составляет около 10 с от начала прокручивания. Давление масла М8Г₂К при температуре минус 20 °С появляется только через 35-40 с от начала прокручивания.

При проведении испытаний двигателя Д-461И с ЭССП при температуре окружающего воздуха минус 40 °С был использован подогреватель ПЖД-30. В процессе проведения опыта подогреватель проработал около 30 мин, за это время температура антифриза на выходе из двигателя достигла 53 °С, а масло в поддоне (область масляного щупа) нагрелось до 5 °С, время пуска составило 6 с (масло М-8Г₂К).

Анализ характеристик продолжительности пуска (рисунок 5) показывает, что продолжительность пуска дизеля Д-461И выше, чем дизеля Д-442И, особенно при температурах минус 15 °С и ниже. Это увеличение продолжительности пуска связано с дополнительным

временем прокручивания коленчатого вала дизеля на замедленной передаче редуктора, тогда как пуск дизеля Д-442И производится на одной передаче. Однако общее время работы пускового двигателя с применением односкоростного редуктора больше на 5-7 мин., чем с применением двухскоростного редуктора, так как ГОСТ 18509 предусматривает определение продолжительности пуска дизеля временем прокручивания коленчатого вала до отключения пускового устройства.

Таким образом, по результатам экспериментального исследования можно сделать следующие выводы:

1 Применение ЭФП позволяет снизить минимальную температуру пуска дизелей с ЭССП на масле М8Г₂К с минус 5 °С до минус 10 °С, на масле М4з/8В₂ – до минус 20 °С, с пусковым двигателем П-350-1 на масле М8Г₂К до минус 15 °С, на масле М4з/8В₂ – до минус 25 °С. Применение пускового обогатителя топлива позволяет снизить минимальную температуру пуска дизелей на 5 °С (до минус 10 °С).

2 Применение двухскоростного редуктора облегчает работу пускового двигателя при его подготовке к выходу на полную мощность и сокращает общую продолжительность его работы при пуске дизеля при низких температурах на 5-7 мин.

3 Применение пускового подогревателя обеспечивает пуск дизелей типа Ч13/14 и ЧН13/14 при температуре до минус 40 °С.

Результаты исследования были использованы ОАО «ПО Алтайский моторный завод» при модернизации выпускаемой продукции и разработке новых моделей дизельных двигателей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель, пусковые характеристики, пусковые испытания, «климатическая» камера, предпусковая подготовка, средства облегчения пуска
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Селёдкин Александр Анатольевич, зам. генерального директора ОАО «15 ЦАРЗ» МО РФ
 Малозёмов Андрей Адиевич, канд. техн. наук, доцент ОАО «НИИ АТТ»
 Герцев Василий Васильевич, зам. генерального директора ОАО «НИИ АТТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 ЦАРЗ» МО РФ
 454007, г. Челябинск, пр. Ленина, 2, ОАО «НИИ АТТ»

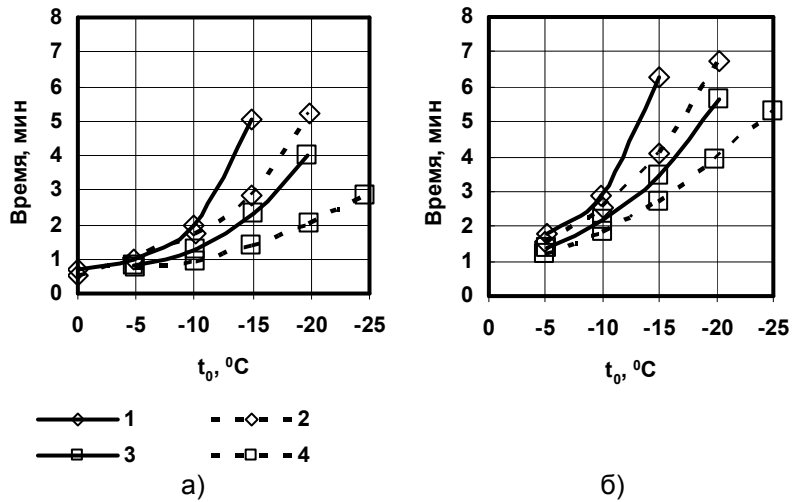


Рисунок 5 – Характеристики продолжительности пуска дизеля: а)-Д-442И; б)-Д-461И пусковым двигателем П-530-1; без ЭФП (1, 2); с ЭФП (3, 4); масло М4з/8В₂ (1, 3); масло М8Г₂К (2, 4)

АППРОКСИМАЦИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДИКАТОРНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ

ОАО «15 Центральный автомобильный ремонтный завод»
 Министерства обороны РФ
 ГОУ ВПО «Челябинское высшее военное автомобильное командно-инженерное училище»
 ОАО «Научно-исследовательский институт автотракторной техники»

В.А. Романов, А.В. Тананыкин, А.А. Малозёмов, В.С. Кукис

APPROXIMATION OF THE EQUATION FOR CALCULATION OF INDICATED AND EFFECTIVE INDICATORS OF DIESEL ENGINES

«The central automobile repair factory No.15»
 «Chelyabinsk higher military automobile command-engineering school»
 «Scientific research institute of autotractor technics»
 V.A. Romanov, A.V. Tananykin, A.A. Malozemov, V.S. Kukis

Results of processing of diesel engines tests of type CH13/14, CHN13/14, allowed to receive approximation the equations for calculation of indicated efficiency, capacity of mechanical losses are resulted; pump losses, effective efficiency and the specific fuel consumption from loading and frequency of the tested engines crankshaft rotation.

Приведены результаты обработки испытаний дизелей типа Ч13/14, ЧН13/14, позволившие получить аппроксимационные уравнения для расчета индикаторного КПД, мощности механических потерь; насосных потерь, эффективного КПД и удельного эффективного расхода топлива от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала исследованных двигателей.

Исследования проводились на дизелях типа Ч13/14, ЧН13/14, производства ОАО «ПО Алтайский моторный завод». В результате обработки материалов испытаний были получены аппроксимационные уравнения для расчета индикаторного КПД (η_i), мощности механических потерь ($N_{мех}$); насосных потерь (N_n) эффективного КПД (η_e) и удельного эффективного расхода топлива (g_e) от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала исследованных двигателей.

Зависимость η_i от мощности и частоты вращения коленчатого вала имеет вид для:

– дизеля 1Ч13/14

$$\eta_i = 23,2 - 0,436N_e + 0,031n - 0,060N_e^2 + 0,001N_e n - 1,13 \cdot 10^{-5} n^2; \quad (1)$$

– дизеля 1ЧН13/14

$$\eta_i = 30,8 - 1,182 \cdot N_e + 0,035 \cdot n - 0,0156 \cdot N_e^2 + 0,0009 \cdot N_e \cdot n - 1,42 \cdot 10^{-5} \cdot n^2. \quad (2)$$

Для всех приведенных здесь и ниже зависимостей коэффициент корреляции более 0,99, кроме отдельно оговоренных случаев.

Зависимость мощности механических потерь может быть представлена в виде для:

– дизеля 1Ч13/14

$$N_{мех} = 0,046 + 0,0085N_e + 0,0009n + 2,071 \cdot 10^{-5} N_e^2 + 3,013 \cdot 10^{-6} N_e n + 7,412 \cdot 10^{-7} n^2; \quad (3)$$

– дизеля 1ЧН13/14

$$N_{мех} = 0,433 + 0,007N_e + 0,0002n + 6,543 \cdot 10^{-7} N_e^2 + 1,621 \cdot 10^{-6} N_e n + 9,974 \cdot 10^{-7} n^2. \quad (4)$$

Насосных потерь для:

– дизеля 1Ч13/14

$$N_n = 0,299 - 0,0013N_e - 0,0005n + 0,0008N_e^2 - 7,175 \cdot 10^{-7} N_e n + 3,408 \cdot 10^{-7} n^2; \quad (5)$$

– дизеля 1ЧН13/14

$$N_n = 0,358 - 0,0284N_e - 0,0006n + 0,0007N_e^2 - 6,176 \cdot 10^{-5} N_e n + 4,352 \cdot 10^{-7} n^2. \quad (6)$$

Аналитические зависимости эффективного КПД и удельного эффективного расхода топлива от нагрузки и частоты вращения коленчатого вала имеют вид для:

– дизеля 1Ч13/14

$$\eta_e = 21,2 + 1,02N_e + 0,0115n - 0,128N_e^2 + 0,0016N_e n - 1,044 \cdot 10^{-5} n^2; \quad (7)$$

$$g_e = 347,2 - 8,136N_e - 0,0882n + 1,108N_e^2 - 0,0142N_e n + 8,768 \cdot 10^{-5} n^2; \quad (8)$$

– для дизеля 1ЧН13/14

$$\eta_e = 27,6 + 0,094N_e + 0,0171n - 0,0523N_e^2 + 0,0011N_e n - 1,219 \cdot 10^{-5} n^2; \quad (9)$$

$$g_e = 292,1 - 0,581N_e - 0,118n + 0,420N_e^2 - 0,0088N_e n + 8,946 \cdot 10^{-5} n^2. \quad (10)$$

Найдем минимум функции (8), приравняв производную по частоте вращения к нулю и решив полученное выражение по n для дизеля 1Ч13/14:

$$\frac{dg_e}{dn} = -0,0822 - 0,0142N_e + 2 \cdot 8,768 \cdot 10^{-5} n = 0; \quad (11)$$

$$n = 81N_e + 469. \quad (12)$$

Выражение (12) представляет собой расчетную зависимость оптимальной, с точки зрения топливной экономичности, частоты вращения коленчатого вала от нагрузки дизеля 1Ч13/14. Для многоцилиндрового дизеля вместо N_e должна быть подставлена цилиндровая мощность.

Аналогично получим для дизеля 1ЧН13/14:

$$\frac{dg_e}{dn} = -0,118 - 0,0088N_e + 2 \cdot 8,946 \cdot 10^{-5} n = 0; \quad (13)$$

$$n = 49N_e + 658. \quad (14)$$

Подставляя вместо n в выражения (1), (2), (7), (9) формулы (12) и (14) и 1500 мин^{-1} , получим для:

– дизеля 1Ч13/14:

$$\eta_{i(n=const)} = 35,1 + 2,538N_e - 0,122N_e^2; \quad (15)$$

$$\eta_{i(n=var)} = 35,1 + 1,671N_e - 0,0527N_e^2; \quad (16)$$

$$\eta_{e(n=const)} = 13,5 + 3,689N_e - 0,138N_e^2; \quad (17)$$

$$\eta_{e(n=var)} = 24,3 + 1,908N_e - 0,0672N_e^2; \quad (18)$$

– для дизеля 1ЧН13/14:

$$\eta_{i(n=const)} = 49,6 + 0,3458N_e - 0,0234N_e^2; \quad (19)$$

$$\eta_{i(n=var)} = 47,6 + 0,2046N_e - 0,0056N_e^2; \quad (20)$$

$$\eta_{e(n=const)} = 23,0 + 2,115N_e - 0,0631N_e^2; \quad (21)$$

$$\eta_{e(n=var)} = 33,5 + 0,8697N_e - 0,0277N_e^2. \quad (22)$$

Анализ уравнений показал, что работа дизеля на переменном скоростном режиме эффективна, с точки зрения топливной экономичности, только в диапазоне от нулевой до определенной нагрузки N'_e . Значение этой нагрузки можно определить, приравняв уравнения (17) и (18), либо (21) и (22), и решив полученное выражение относительно N'_e . Для дизеля без наддува $N'_e = 12$ кВт, для двигателя с наддувом – $N'_e = 14$ кВт.

Нужно отметить, что выражения (15)-(22) относятся только к диапазону нагрузок, для которых проводилось исследование.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *дизель, нагрузка, скоростной режим, индикаторный КПД, эффективный КПД, удельный эффективный расход топлива*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Романов Виктор Анатольевич, канд. техн. наук, профессор, ген. директор ОАО «15 ЦАРЗ» МО РФ*

Тананыкин Александр Владимирович, начальник кафедры ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

Малозёмов Андрей Адиевич, канд. техн. наук, доцент ОАО «НИИ АТТ»

Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630056, г. Новосибирск, ул. Варшавская, 1, ОАО «15 ЦАРЗ» МО РФ*

454029, г. Челябинск, пр. Победы, 187, ГОУ ВПО «Челябинское ВВАКИУ»

454007, г. Челябинск, пр. Ленина, 2, ОАО «НИИ АТТ»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЧНЫХ СУДОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.Г. Мироненко

SAFETY OF OPERATION OF RIVER SHIPS

«Novosibirsk state academy of water transport»

I.G. Mironenko

Analysis of the crisis on the river fleet. Discusses options out of the crisis. Proposed scheme maintenance substantiation of extension engine ships.

Приводится анализ кризисной ситуации, сложившейся в отрасли, вызванной старением флота. Рассматриваются возможные варианты выхода из кризиса. Предлагается схема регламентных работ по обоснованию срока продления эксплуатации.

В настоящее время на водном транспорте сложилась тревожная ситуация, связанная с состоянием основного парка двигателей, отработавших назначенный ресурс. По данным журнала «Речной транспорт» [1, 2] дизельный парк пароходств сильно изношен, морально и физически стареет; более 50% (а в отдельных судоходных компаниях до 80%) главных двигателей теплоходов выработали ресурс и нуждаются в замене или капитальном ремонте. По данным [3] Главного Управления Российского Речного Регистра (ГУ РРР) средний возраст судов транспортного флота превышает сегодня 25 лет. Главные двигатели теплоходов 6(8)NVD48, 6ЧРН36/45, 6L275 выработали ресурс и по этому признаку нуждаются в капитальном ремонте или замене.

Анализ результатов обследования судовых двигателей, отработавших назначенный ресурс, за последние пять лет показывает, что проблема эксплуатации изношенных двигателей входит в фазу апогея. Сроки продления эксплуатации год от года снижаются. Как показано на рисунке 1, доля двигателей, получивших минимальные сроки продления эксплуатации (не более одной навигации) и находящихся в преддефектном состоянии с 2006 г. начинает превалировать над долей двигателей получивших максимальные сроки продления (более 9000 ч). Всё это свидетельствует о том, что техническое состояние главных двигателей

теплоходов стремительно ухудшается. Простейший (элементарный) прогноз показывает, что уже к 2014 году мы можем получить транспортный паралич на реках Сибири (рисунок 2).

Острота проблемы усугубляется финансовым кризисом, который уже сегодня приводит к уменьшению объемов перевозок, а, следовательно, и объёмов судоремонта, и капитального ремонта судовых дизелей в частности. Выход из сложившейся ситуации, сегодня нам видится только один – продление срока эксплуатации двигателей, их ремонт и замена по фактическому состоянию. Для этого необходим комплекс диагностических мероприятий, позволяющих оценить фактическое техническое состояние двигателя и прогнозировать время (хотя бы в первом приближении) до наступления преддефектного состояния. Такой комплекс мероприятий позволит разделить двигатели на годные и не годные к эксплуатации. И только потом, в отношении не годных дизелей, применить весь комплекс технологических и инженерных мероприятий капитального ремонта.

Теперь следует определиться – из чего должен состоять комплекс диагностических мероприятий? Вот на этом пункте следует остановиться особо! Результаты расчетов, выполненные в соответствии с [7] показывают, что коленчатые валы двигателей, отработавших назначенный ресурс без капитального ремонта, имеют ещё достаточно большой запас ресурса по скорости изнашивания. Прогнозируемое время до достижения предельных геометрических параметров шеек коленчатого вала исчисляется десятками тысяч часов [4]. В тоже время, минимальное прогнозируемое время до появления дефектов усталостного происхождения, определённое в соответствии с [5, 6], лишь в отдельных случаях едва-едва превышает 10000 ч. Это обстоятельство выводит диагностику усталостных повреждений металла на первый план и придаёт ей особое, ведущее значение в процедуре продления срока эксплуатации изношенного оборудования.

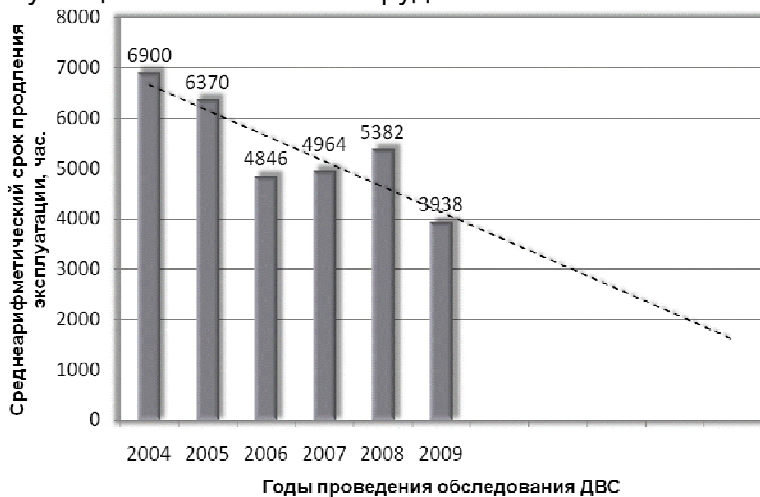


Рисунок 2 – Сроки продления эксплуатации судовых ДВС, отработавших назначенный ресурс за последние шесть лет в Западной Сибири

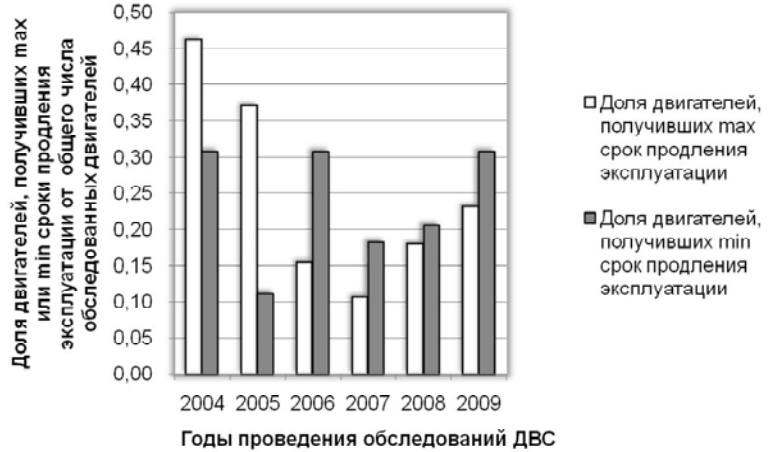


Рисунок 1 – Изменение технического состояния судовых двигателей, отработавших назначенный ресурс, по результатам продления сроков их эксплуатации

В 2003 году сотрудниками ФГОУ ВПО «НГАВТ» была разработана методика обследования судовых дизелей, отработавших назначенный ресурс, с целью продления срока их эксплуатации. В 2004 году методика была согласована с РРР и в 2008 г. – с Российским Морским Регистром Судостроительства (РМРС). Ключевым элементом методики является диагностика усталостных повреждений металла и прогнозирование времени до наступления преддефектного состояния. Начиная с 2004 года, методика активно используется в Западно-Сибирском Регионе. Опустив описание достижений и особенностей методики,

рассмотрим основные результаты ее применения.

Первое, что вызывает живой интерес, это прогнозирование. Ни для кого не секрет, что самый точный прогноз погоды – на ближайшие три дня. В данном же случае прогнозирование ведётся на тысячи и даже десятки тысяч часов вперёд. Какова же точность такого про-

гноза? Обратимся к фактам.

Обследование правого главного двигателя теплохода РТ-714 ООО «Паромные перевозки» в 2005 году показало наличие ярко выраженной зоны концентрации напряжений в 1-й шатунной шейке. Причиной развития усталости послужила длительная работа двигателя с повышенным раскепом 1-й шатунной шейки. На момент обследования раскеп был равен 0,07 мм при предельно-допустимом значении 0,08 мм. Прогнозируемое время до наступления преддефектного состояния составило 4000 ч. Повторное обследование двигателя, проведённое через 2966 ч показало, что раскеп достиг предельного значения, а прогнозируемое время до преддефектного состояния сократилось до 999 ч, что вполне удовлетворительно совпадало с предварительным расчётом. Поскольку прогноз не превышал продолжительности навигационного периода, было принято решение провести капитальный ремонт дизеля в корпусе судна. При этом следует заметить, что на момент повторного обследования дизель отработал ресурс до списания и подлежал замене.

Другой пример. При обследовании левого двигателя теплохода РТ-669 ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» в 2007 году были обнаружены два шатуна, находящиеся в преддефектном состоянии. Судовладелец проигнорировал рекомендации комиссии по ремонту или замене шатунов. В результате – в конце навигационного периода один из шатунов оборвался, двигатель полностью разрушен и восстановлению не подлежит! Таким образом, прогнозирование времени до наступления преддефектного состояния имеет достаточно высокую точность, если условия эксплуатации механизма остаются неизменными. Это обстоятельство подтверждается и в работе [5].

Другой вопрос, на который хотелось бы обратить внимание – это результаты и опыт применения методики обследования судовых дизелей в масштабах пароходства (судоходной компании). Самый яркий пример – это работа, проведённая в ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство» (ОИРП) в 2007-2008 году. По результатам обследования шести главных двигателей были заменены новыми, четырём был проведён капитальный ремонт в корпусе судна, остальные получили различные сроки продления эксплуатации – от 4000 до 10000 ч. По «речным» меркам – это от двух до пяти навигаций. Причём, подчеркну, всем обследованным двигателям Правилами Речного Регистра был предписан, как минимум, капитальный ремонт и, как максимум, замена! Следовательно, проведение обследования судовых ДВС с применением диагностики усталостных повреждений металла, позволяет оптимизировать объёмы судоремонта и отложить капитальный ремонт до более удобного момента.

Рассмотрим теперь, что даёт применение диагностики усталостных повреждений металла при проведении капитального ремонта ДВС. Для этого опять используем опыт ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство».

В 2008 году при обследовании левого главного двигателя теплохода РТ-784 в четвёртой коренной шейке коленчатого вала были обнаружены зоны концентрации напряжений, вызванные усталостью металла, которая в свою очередь, была обусловлена длительной работой с повышенным раскепом. На момент обследования двигатель отработал более 47 тыс. ч, то есть ресурс до списания. Прогнозируемое время до преддефектного состояния составляло всего 4000 ч. Шлифовка шеек коленчатого вала в ремонтный размер была связана с его транспортировкой в другой регион и последующей переукладкой. Процедура достаточно длительная и не дешёвая. При этом геометрические параметры шеек коленчатого вала находились в допустимых пределах. Необходимо было решить проблему с усталостью.

После согласования с Речным Регистром и техническими специалистами судовладельца было принято решение полировать шейки вручную, без выемки и переукладки коленчатого вала до полного устранения усталости или хотя бы до её достаточного для дальнейшей эксплуатации ослабления. Что и было сделано. Результаты сканирования четвертой коренной шейки после полировки показали значительное уменьшение степени усталостных повреждений и прогнозируемое время до преддефектного состояния увеличилось до 14-17 тыс. ч, что вполне достаточно для капитального ремонта. Аналогичная работа была выполнена ещё на трёх двигателях пароходства.

Таким образом, результаты проделанной работы показывают, что применение диагностики усталостных повреждений металла в составе капитального ремонта позволяет оптимизировать его объём до объёма среднего ремонта, а систему планово-предупредительного ремонта заменить системой ремонта по фактическому состоянию.

Заключение:

1 В условиях финансового кризиса обновление судового механического оборудования становится весьма проблематичным. Для обеспечения безаварийной эксплуатации флота необходима система периодического обследования оборудования, отработавшего назначенный ресурс с целью продления сроков его эксплуатации.

2 Технический регламент работ по обследованию оборудования, отработавшего назначенный ресурс, должен содержать диагностику усталостных повреждений металла и прогнозирование изменения эксплуатационных показателей обследуемого оборудования.

3 Опыт работы ФГОУ ВПО «НГАВТ» по обследованию судовых двигателей, отработавших назначенный ресурс до списания, показывает, что применение диагностики усталостных повреждений металла позволяет:

- определять места возможного возникновения трещин задолго до их появления;
- продлевать срок эксплуатации двигателей без применения ремонта;
- определять сроки продления эксплуатации до удобного момента ремонта в остальных случаях;
- составлять график проведения ремонта, основанный на фактическом техническом состоянии ответственных деталей двигателя;
- оптимизировать объем капитального ремонта до объемов среднего.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алипа, В.Л. Флот нуждается в государственной поддержке // Речной транспорт. -2004. -№3.
2 Вставский, Г. Обновление флота на Енисее // Речной транспорт. -2004. -№3.
3 Ефремов, Н.А. Перспективное направление обновления флота // Речной транспорт. -2003. -№1.
4 Матиевский, Д.Д. Продление срока эксплуатации судовых дизелей, отработавших назначенный ресурс / Д.Д. Матиевский, А.Г. Мироненко, И.Г. Мироненко // Ползуновский вестник. АлтГТУ, 2008. №1.
5 Метод магнитной памяти (ММП) металла и приборы контроля. Учебное пособие / А.А. Дубов, Ал.А. Дубов, С.М. Колокольников. -М.: ЗАО «Тиссо», 2003. -320 с.
6 Мироненко, А.Г. Методические указания по обследованию судовых дизелей с истекшим назначенным ресурсом / А.Г. Мироненко, И.Г. Мироненко. -Новосибирск: ФГОУ ВПО НГАВТ, 2004. -56 с.
7 Руководство по анализу износов деталей и надёжности дизелей / С.М. Ханин, И.В. Лысяк, А.А. Пассуманский, А.Я. Петрянин. -Л.: Транспорт, 1982. -48 с.
КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *продление срока эксплуатации, безопасность, речные суда*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Мироненко Игорь Геннадьевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ИЗМЕРЕНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОХОДОВ ПРОЕКТА 1741А

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»
НОУ ВПО «Сибирский университет потребительской кооперации»

А.С. Екимов, Н.Г. Петрова, С.С. Глушков

TORSIONAL OSCILLATION IN THE PROPELLER SHAFTS OF SHIP ENGINE 1741A
«Novosibirsk state academy of water transport»
«Novosibirsk state technical university»
«Siberian university of consumers' co-operative society»
A.S. Ekimov, N.G. Petrova, S.S. Glushkov

In article the analysis of spectrograms torsional fluctuations ship propeller shafts project steam-ships 1741A on which it is possible to do conclusions about a technical condition of total lines of ship power installations being in operation is carried out.

Проведен анализ спектрограмм крутильных колебаний судовых валопроводов теплоходов проекта 1741А, по которым можно делать выводы о техническом состоянии валовых линий судовых энергетических установок находящихся в эксплуатации.

Измерение крутильных колебаний судовых валопроводов левого и правого борта производились разработанным автоматизированным вычислительным комплексом БАГС-4 в соответствии с п.3 руководства Р.009-2004 РРР «Расчет и измерение крутильных колебаний валопроводов и агрегатов» и программой по торсиографированию судовых валопроводов, согласованной с Западно-Сибирской инспекцией РРР.

При торсиографировании амплитуду колебаний измеряют на свободном конце коленчатого вала и на валу валопровода в доступном месте за маховиком. Масштабы записи определяются программным методом при тарировке датчика ТНК-4 на стенде. Отметчик времени работает от часов переносного компьютера и дает отметки от 0,001 до 20 с. Отметчик оборотов работает от бесконтактного датчика установленного на валу.

Определение максимального развития вынужденных колебаний осуществлялось при определенных числах оборотов. Запись колебаний производились на протяжении нескольких секунд после непродолжительной работы двигателя при данном числе оборотов, которое устанавливалось автоматически и синхронно самим датчиком ТНК-4 или по тахометру.

Полученную амплитуду сравнивают с расчетной амплитудой, полученной в результате математического моделирования на ПЭВМ. Расчет вынужденной амплитуды колебаний производился для частоты вращения коленчатого вала главного двигателя 600 мин⁻¹. Амплитуда вынужденных колебаний при этом составила 0,381 рад.

Для определения коэффициента или декремента затухания на полученных спектрограммах замерялись амплитуды колебаний. Среднее арифметическое значение измеренной амплитуды вычислялась по формуле [1, 2]

$$A_{узм} = \frac{J_i^n A_i}{n},$$

где A_i – результат одного i -ого замера;

n – число оборотов.

Среднее квадратичное отклонение S_n при n замерах находилось по выражению

$$S_n = \sqrt{\frac{\sum_i^n (A_{узм} - A_i)^2}{n-1}}.$$

Промахи из серии измерений выявлялись и исключались после измерения

$$\delta_i = \frac{A_{узм} - A_i}{S_n}.$$

При δ_i больше предельной допустимой величины $[\delta]$ и значение исключалось из числа замеров. Исключенные замеры имеют вероятность появления среди измеренных величин меньше 1% и рассматривались как грубая ошибка.

Коэффициент Стьюдента t_n определяется для доверительной вероятности $\alpha = 0,95$ по числу замеров n . Доверительный интервал средней арифметической величины амплитуды колебаний оценивался по формуле

$$\Delta A_{узм} = t_n \frac{S_n}{\sqrt{n}}.$$

Относительный доверительный интервал ε_n в долях средней арифметической величины амплитуды колебаний оценивался по выражению

$$\varepsilon_n = \frac{\Delta A_{узм}}{A_{узм}}.$$

Полученные значения ε_n относительного доверительного интервала сравнивались с программным $\varepsilon_{np} = 0,4$. При $\varepsilon_n \leq \varepsilon_{np}$ полученные значения амплитуды колебаний $A_{узм}$ считались достоверными.

Анализ полученных спектрограмм позволяет сделать следующие выводы:

- колебания коленчатого вала и огибающая выходного сигнала имеют одинаковый период повторений как для СЭУ т/х «РТ-685», так и т/х «РТ-791»;
- колебания коленчатого вала не строго периодичны ввиду неравномерности вращения по амплитуде и фазе;
- при прочих равных условиях величина декремента затухания зависит только от амплитуды колебаний вибрационных сигналов;

– в районе рассчитанных собственных частот: 54,9 Гц декремент затухания валовой линии т/х «РТ-791»; в среднем составляет $\delta = 1,967\%$, что меньше декремента затухания валовой линии т/х «РТ-685» у которого он в среднем – $\delta = 2,044\%$;

– амплитуда колебаний эксплуатируемых СЭУ т/х «РТ-791» и т/х «РТ-685» соответственно равны 0,69 рад и 0,81 рад, что больше, чем расчетная амплитуда, равная 0,381 рад.

Сравнивая декременты затуханий можно сделать вывод: техническое состояние валовой линии СЭУ т/х «РТ-685» находится в худшем состоянии, чем техническое состояние валовой линии т/х «РТ-791».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гальчук, В.Я. Техника научного эксперимента / В.Я. Гальчук, А.П. Соловьев. -Л.: Судостроение, 1982. -255 с.

2 Новицкий, П.В. Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. -Л.: Изд-во Энергоатомиздат, 1991. -304 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой валопровод, измерения, крутильные колебания*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Екимов Александр Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГавТ»*

Петрова Наталья Глебовна, студент ГОУ ВПО «НГТУ»

Глушков Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, ассистент НОУ ВПО «Сибирский УПК»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГавТ»*

630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

630087, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 26, НОУ ВПО «Сибирский УПК»

ВЛИЯНИЕ ВОДЫ В ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ НА СНИЖЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.Н. Лебедев, В.П. Зайцев, О.В. Рослякова, Г.С. Юр

INFLUENCE OF WATER IN HEATING SYSTEMS ON DECREASE IN FORMATION OF NITROGEN OXIDE IN MARINE DIESEL ENGINES

«Novosibirsk state academy of water transport»

O.N. Lebedev, V.P. Zajcev, O.V. Rosljakova, G.S. Yur

This work presents experimental results of influence of water in heating systems – in a form of water-fuel emulsion and in the form of solution in diesel fuel.

Представлены экспериментальные результаты о влиянии воды в топливных системах – в виде водотопливной эмульсии и в растворенном состоянии в дизельном топливе.

В настоящее время охрана окружающей среды стала одной из важнейших проблем человечества. Особое внимание при этом уделяется вопросам сокращения вредных выбросов энергетических установок, и в частности, выбросов двигателей внутреннего сгорания (ДВС). В данной работе проведены исследования влияния воды в топливных системах на выбросы одного из самых токсичных компонентов выхлопных газов дизелей – оксидов азота (NO_x). Указанные исследования имеют большое значение для судов речного флота, которые, как правило, оборудованы этими двигателями.

На основании экспериментальных результатов, проводимых на двигателе 1Ч15/18 установлена одна из причин снижения интенсивности образования оксидов азота при переводе работы дизеля с мазута на водотопливную эмульсию (ВТЭ). Она определяется тем, что при использовании эмульсии существенно сокращается объем активной зоны камеры сгорания (КС), где возможно образование NO_x . Эти зоны характерны тем, что в них имеют место высокие значения концентраций кислорода и температур рабочего тела.

По результатам экспериментов можно отметить, что с увеличением содержания воды во ВТЭ выбросы оксидов азота существенно сокращаются на всех режимах работы двигателя. На рисунке 2 в качестве примера, представлена зависимость величины

$$\overline{\text{NO}_x} = \frac{\text{NO}_x}{\text{NO}_{x_0}} \cdot 100,$$

от концентрации C_w воды во ВТЭ для двигателя 1Ч15/18. Здесь обозначено: NO_x , NO_{x_0} , те-

кущая концентрация оксидов азота и та же величина при $C_w = 0$. Опыты проводились на номинальном режиме. Содержание оксидов азота в отработанных газах определяли при помощи газоанализатора ПЭМ-2М. Из рисунка 2 следует, что в данных условиях величина NO_x с ростом C_w практически линейно снижается.

Рисунок 3 иллюстрирует влияние присадки воды на удельный эффективный расход топлива. Из рисунка следует, что при номинальной величине $C_w = 20\%$ наблюдается снижение расхода топлива примерно на 10%.

Таким образом, можно констатировать, что применение ВТЭ в двигателе 1Ч15/18 ведет к существенному снижению выбросов NO_x и повышению экономичности дизеля по расходу топлива.

Таким образом, можно констатировать, что применение водотопливных эмульсий при работе дизеля ведет к существенному снижению выбросов NO_x и повышению экономичности дизеля по расходу топлива. Необходимо отметить, что водотопливная эмульсия имеет малую устойчивость, относительно невысокую дисперсность и значительную вязкость. К недостаткам этих топлив можно отнести малую устойчивость, относительно высокую дисперсность и их значительную вязкость.

Исследование состояния воды в неводных растворах, в частности, в топливе расширяют границы эффективного использования водотопливных смесей, которые могут существовать не только в эмульсионном состоянии, но и мицеллярном состоянии, и в виде истинных растворов.

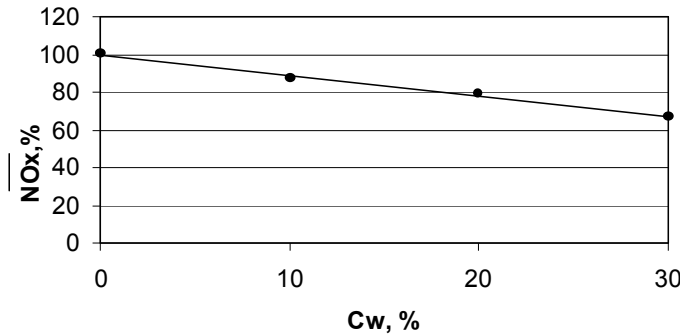


Рисунок 2 – Зависимость снижения выбросов NO_x оксидов азота от концентрации C_w воды во ВТЭ

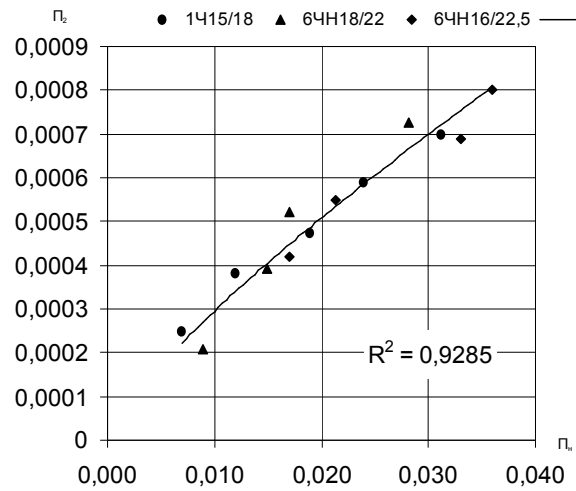


Рисунок 1 – Зависимость для нагрузочной характеристики

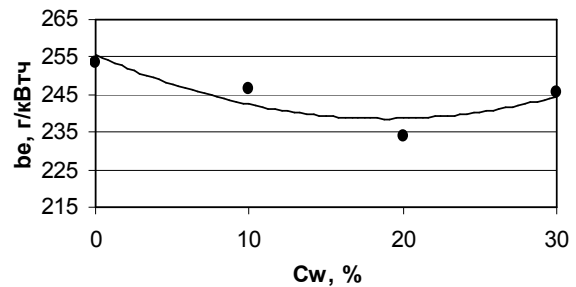
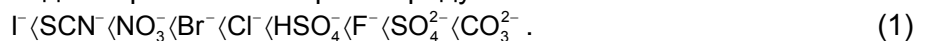


Рисунок 3 – Зависимость удельного эффективного расхода топлива от содержания воды во ВТЭ

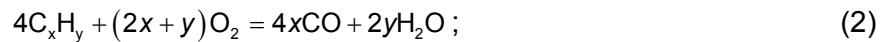
Эффективность сгорания топлива в двигателе зависит от наличия в топливе добавок и присадок. Для повышения детанационной стойкости товарных бензинов применяют антидетанаторы на основе алкилзамещенных аминов. За рубежом широкое применение нашли ароматические амины – производные анилина ($C_6H_5NH_2$). Долгое время для оценки антидетанационной стойкости бензинов служил эталоном «анилиновый эквивалент» [1]. Таким образом, исследование систем, содержащих амины, соли аминов и четвертичных аммониевых оснований (ЧАО), представляют научный и практический интерес, поскольку открывают возможности целенаправленного выбора состава топливных смесей, которые удовлетворяли бы техническим и экологическим требованиям.

В качестве объекта исследования были выбраны соли ЧАО. Указанные соли, по сравнению с солями аминов, значительно соэкстрагируют воду в органическую фазу в результате их гидратации [2]. Исследования гидратации солей ЧАО в неводных растворах показали увеличение растворимости воды в органической фазе в ряду анионов



Из проведенных исследований следует, что наибольший интерес представляет соль триалкилбензиламмонийкарбонат (ТАБАК), где радикал алкил равен $C_7 - C_9$. Соль, согласно ряда анионов (1), является высокогидратируемой, при термическом разложении аниона CO_3^{2-} в отличие от других ионов, не вносит в состав выхлопных газов новых примесей и не образует угарный газ CO.

Соль ТАБАК получена путем анионообменных межфазных реакций из товарной соли триалкилбензиламмонийхлорид, растворенной в дизельном топливе. Насыщение топлива водой проводили посредством смешения фаз при соотношении объемов органики и воды как 1000:100. После расслаивания фаз водную фазу удаляли. Содержание соли ТАБАК в дизельном топливе составляло 8 об.%, воды 1,8 об.%. Испытания проводились на отсеке дизеля Ч10,5/12 по нагрузочной характеристике при частоте вращения коленчатого вала равном 1500 мин^{-1} . В результате испытаний было установлено, что присутствие соли ТАБАК и растворенной воды в модифицированном дизельном топливе приводит к снижению образования оксидов азота на 28%. Механизм действия солей ЧАО и воды, содержащихся в топливе, еще не изучен. Можно предположить, что процесс сгорания топлива протекает в две стадии:



Присутствие воды в топливе способствует протеканию реакции (3). На этой реакции основано использование окиси углерода в качестве топлива [3], что в конечном итоге существенно снижает участие кислорода в окислении азота.

Таким образом, модификация дизельного топлива посредством добавления в него воды заметно улучшает экологические характеристики дизеля без его модификации и регулировок, что указывает на актуальность и перспективность исследования топливных систем, насыщенных водой и водотопливных эмульсий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сафронов, А.С. Автомобильные топлива. НПИКЦ / А.С. Сафронов, А.И. Ушаков, И.В. Чечкенов. -СПб., 2002. -263 с.

2 Зайцев, В.П. Исследование состояния воды в неводных растворах солей четвертичных аммониевых оснований применительно к топливным системам / В.П. Зайцев, Н.В. Усова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2005. -№1-2. -С. 109-113.

3 Неницеску, К. Общая химия / К. Неницеску. -М.: Мир, 1968. -816 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вода, топливо, оксиды азота, снижение, водотопливная эмульсия, ВТЭ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: [Лебедев Олег Николаевич], докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Зайцев Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Рослякова Оксана Вячеславовна, канд. техн. наук, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Юр Геннадий Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.М. Худоногов, Д.А. Оленцевич, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина

THE ANALYSIS OF RELIABILITY OF ISOLATION OF WINDINGS OF ELECTRIC DRIVE OF THE TRACTION ROLLING STOCK WITH THE ACCOUNT OF FEATURES OF ENVIRONMENTAL CONDITIONS OF THE ENVIRONMENT
«Irkutsk state transport university»

A.M. Hudonogov, D.A. Olencevich, V.V. Sidirov, E.M. Lytkina

Substantive provisions of heating and cooling of isolation of windings of traction electric drive are resulted, the concept on management of thermal modes is formulated.

Приведены основные положения нагрева и охлаждения изоляции обмоток тяговых электрических машин, сформулирована концепция по управлению тепловыми режимами.

Одной из важнейших проблем железнодорожного транспорта страны является необходимость обеспечения надежной работы тягового подвижного состава. Анализ по надежности тягового подвижного состава показывает, что основным повреждаемым узлом являются электрические машины.

По данным Желдорреммаш на электрические машины электровозов приходится 53% от общего количества отказов, по электрическому оборудованию 25%, по механическому оборудованию 20%, по тормозному и пневматическому оборудованию 2%. На электрические машины электропоездов приходится 28% от общего количества отказов, на механическое оборудование – 33,6%, по электроаппаратуре – 39,2%. На электрические машины тепловозов приходится 42% от общего количества отказов, на электрическое оборудование 28%, на механическое оборудование 16%, на дизель 12% и на тормозное и пневматическое оборудование 2% [1].

Электрические машины тягового подвижного состава относятся к наиболее нагруженному оборудованию и поэтому с позиций комплексного воздействия на них тепловых, электромагнитных, механических и климатических факторов, несмотря на постоянно проводимые мероприятия, конструктивно-технологического характера при изготовлении и ремонте, уровень повреждаемости их в эксплуатации хотя и снижается, но остается довольно высоким.

Наиболее важным и уязвимым звеном тяговых и вспомогательных электрических машин являются их обмотки. От 90 до 95% всех отказов силового электрооборудования на ЭПС приходится на неисправности обмоток. Трудоемкость текущего, среднего и капитального ремонта обмоток составляет от 30 до 70% общего объема работ. В свою очередь в обмотках наиболее ненадежным элементом является их изоляция. В процессе эксплуатации ЭПС изоляция тяговых электрических машин нагревается, охлаждается и увлажняется, что приводит к резкому снижению ее электрической прочности.

Одним из определяющих факторов, воздействующих на старение изоляции, является скорость нагревания изоляции ТЭМ, то есть быстрое изменение температуры обмоток до предельно допустимых значений для изоляции соответствующего класса нагревостойкости, особенно с переходом через 0 °С, что характерно для эксплуатации локомотивов по «северному ходу» на Восточно-Сибирской железной дороге. Морозы на участках эксплуатации достигают минус 50 °С и ниже, перепады температуры в течение суток до 20-35 °С, продолжительность работы при отрицательной температуре внешней среды составляет до одиннадцати месяцев в году. При прохождении электровозами в зимний период искусственных сооружений перепады температур достигают более 60 °С. Аналогичное положение наблюдается и на других железных дорогах Сибири, Севера и Дальнего Востока [2].

На основании уравнений движения поезда и тягового электропривода можно разработать математические модели нагревания и охлаждения изоляции обмоток тяговой электрической машины (ТЭМ) путём использования дифференциального уравнения энергетического баланса в процессах электромеханического преобразования. Как известно, тяговый привод предназначен для преобразования электрической энергии в механическую в режиме тяги и, наоборот, в режиме рекуперативного торможения.

Как в первом случае, так и во втором, работа электрической машины связана с возникновением потерь энергии, часть которой превращается в тепловую. Тепловая энергия частично расходуется на повышение температуры самой машины, а вторая часть рассеивается в окружающую среду. Потери энергии в ТЭМ состоят из потерь, не зависящих от нагрузки и называемых постоянными (потери в стали магнитопровода, механические потери на трение в подшипниках и вентиляционные потери), и переменных потерь в активном сопротивлении меди обмоток. Последние потери изменяются пропорционально квадрату изменения проходящего в них тока.

При выводе и анализе уравнений нагревания и охлаждения изоляции ТЭМ принимаются следующие допущения:

- температура охлаждающей среды не меняется;
- температура и теплоёмкость во всех точках изоляции обмоток ТЭМ одинаковая;
- отдача теплоты в охлаждающую среду пропорциональна превышению температуры изоляции обмоток ТЭМ.

Подвод теплоты в результате потерь в ТЭМ

$$Q = \sum \Delta P, \text{ Дж/с,}$$

где $\sum \Delta P$ – суммарные потери мощности, Вт,

$$\sum \Delta P = P_1 - P_2 = \frac{P_2}{\eta} - P_2 = \frac{P_2(1-\eta)}{\eta},$$

P_1 – входная мощность, Вт;

P_2 – выходная мощность (принимается из технического паспорта ТЭМ), Вт;

η – КПД (принимается из технического паспорта ТЭМ).

В начальный период нагревание электрической машины расходуется главным образом на повышение температуры отдельных её частей над температурой охлаждающей среды. Когда температура электрической машины перестает повышаться, вся выделенная в ней тепловая энергия передаётся в охлаждающую среду. Теплоотдача происходит вследствие теплопроводности, конвекции и терморрадиации. Теплоотдача ТЭМ, то есть количество теплоты, передаваемого с поверхности электрической машины в охлаждающую среду, при разности температур между электрической машиной и охлаждающей средой, равной 1°C .

Отдача теплоты в охлаждающую среду, или теплоотдача ТЭМ

$$A = \sum \mu \cdot F, \text{ Дж}/(\text{с}\cdot^\circ\text{C}),$$

где $\sum \mu$ – суммарная удельная теплоотдача, $\text{Дж}/(\text{с}\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2)$;

F – теплоотдающая поверхность, м^2 .

Общая весовая теплоемкость ТЭМ, то есть количество теплоты, необходимое для повышения температуры электрической машины на 1°C

$$C = \sum C_0 \cdot G, \text{ Дж}/(\text{с}\cdot^\circ\text{C}),$$

где $\sum C_0$ – суммарная удельная теплоемкость, $\text{Дж}/(\text{с}\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{кг})$;

G – масса ТЭМ, кг.

Левая часть уравнения (1) показывает подвод теплоты в результате потерь в электрической машине, правая часть отвод

$$Q \cdot dt = C \cdot d\tau + A \cdot \tau \cdot dt, \quad (1)$$

где t – время работы ТЭМ, с;

τ – превышение температуры ТЭМ над температурой охлаждающей среды.

Дифференциальное уравнение энергетического баланса решается путем разделения переменных. На основании решения дифференциального уравнения энергетического баланса и соответствующих преобразования получаем уравнение нагревания ТЭМ в наиболее общем виде

$$\tau = \tau_{\text{уст}} [1 - \exp(-t/T)] + \tau_{\text{нач}} \exp(-t/T).$$

При $\tau_{\text{нач}} = 0$ (холодное состояние ТЭМ):

$$\tau = \tau_{\text{уст}} [1 - \exp(-t/T)]; \quad \tau_{\text{уст}} = Q/A; \quad \tau = Q[1 - \exp(-t/T)]/A.$$

Для расчета системы вентиляции ТЭМ используется следующая эмпирическая зависимость

$$\sum \mu_{\text{вент}} = \sum \mu_{\text{ест}} (1 - C_e \sqrt{V_e}),$$

где $\mu_{\text{ест}}$ – суммарный коэффициент теплоотдачи при естественной вентиляции, $\text{Дж}/(\text{с}\cdot^\circ\text{C}\cdot\text{м}^2)$;

C_e – эмпирический коэффициент, равный $C_e \approx 0,1 \dots 1,0$;

V_e – скорость воздуха в вентиляционном канале ТЭМ, м/с;

Q' – объем воздуха, подаваемого для охлаждения, $\text{м}^3/\text{с}$

$$Q' = V_e \cdot F_e;$$

F_e – площадь поперечного сечения воздуховода, м^2 .

Уравнение нагревания ТЭМ с учетом системы вентиляции

$$\tau = \frac{\Delta P [1 - \exp(-t/T)]}{\sum \mu_{\text{ест}} (1 - C_e \sqrt{V_e})}.$$

Однако для расчётов скорости нагревания изоляционных структур целесообразнее постоянную времени нагревания развернуть в виде аналитического выражения через её геометрические и физические параметры.

Постоянная времени нагрева является характеристикой изоляции. Она не зависит от

подводимой мощности и численно равна отношению теплоемкости тела к его теплоотдаче

$$T = \frac{C}{Q_{np}}, \text{ Дж/К}, \quad (2)$$

где Q_{np} – теплоотдача изоляции, Дж/(К·с).

Физический смысл постоянной времени нагрева раскрывается следующим определением. Постоянная времени нагрева определяется как такое время, в течение которого превышение температуры изоляции достигло бы установившегося значения, если бы не было отдачи теплоты в окружающую среду (адиабатический процесс). Практически при наличии теплоотдачи за время, равное постоянной времени нагрева, превышение температуры изоляции достигает значения, равного 0,632 установившегося.

Уравнение (2) можно переписать в следующий вид

$$T = \frac{C}{Q_{np}} = \frac{c \cdot M}{\alpha \cdot F},$$

где c – удельная теплоемкость изоляции, Дж/(кг·К);

M – масса продукта, кг;

α – коэффициент теплообмена изоляции, Дж/(м²·К·с);

F – площадь внешней поверхности изоляции, м².

Массу изоляции можно представить как

$$M = \rho \cdot V,$$

где ρ – плотность изоляции, кг/м³;

V – объем изоляции, м³.

Тогда выражение для постоянной времени нагрева можно представить в виде

$$T = \frac{c \cdot \rho}{\alpha} \cdot \frac{V}{F}.$$

Обозначим отношение $\sigma = V/F$, тогда выражение для постоянной времени нагрева запишем как

$$T = \frac{c \cdot \rho}{\alpha} \cdot \sigma. \quad (3)$$

По своей сути σ представляет собой обобщенный показатель геометрической характеристики изоляции. Этот показатель, как следует из вышеизложенного, можно определить при наличии геометрических размеров изоляции.

Однако, как следует из формулы (3), для определения постоянной времени нагрева изоляции кроме обобщенного показателя σ необходимо иметь данные по его удельной теплоемкости, плотности и коэффициенту теплообмена. Все эти три физических параметра зависят в основном от влагосодержания в изоляции. С увеличением влагосодержания в изоляции увеличивается удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплообмена. Используя вышеизложенную методику для определения постоянной времени нагрева, нами с помощью вычислительной техники произведен расчет постоянной времени нагрева изоляции в зависимости от ее влагосодержания.

Многочисленными исследованиями установлено, что на старение изоляции значительное влияние оказывает скорость ее нагревания θ , °С/(Дж·с).

Для определения этой величины необходимо уравнение нагревания ТЭМ продифференцировать по времени и исследовать полученное выражение на экстремум. В результате этих операций получаем следующий критерий

$$\theta_{\max} \leq \tau_{\text{пред. доп}} / T.$$

Максимально допустимая скорость нагревания изоляции ТЭМ в процессе эксплуатации ЭПС, не должна превышать значений, полученные путем деления предельно допустимого превышения температуры для данного класса нагревостойкости на постоянную времени нагревания изоляции ТЭМ.

Заключение. На основании системного анализа сформулирована концепция по управлению тепловыми режимами ТЭМ. Главными критериями концепции должен быть:

- адаптация системы к изменениям температуры окружающей среды;
- применение многоканальной систем мониторинга теплового режима ТЭМ;
- автоматизация управления процессами нагрева и охлаждения ТЭМ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Надежность электрических машин тягового подвижного состава // Д.В. Коноваленко, В.Н. Иванов, Д.А. Оленцевич, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№2. -С. 196-198.

2 Эксплуатация электровозов в условиях низких температур // А.М. Худоногов, Д.В. Коноваленко, Д.А. Оленцевич, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина, Н.А. Иванова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№2. -С. 201-205.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тепловой режим, обмотка изоляции, надежность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Худоногов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Оленцевич Дмитрий Андреевич, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ КАПСУЛИРОВАНИИ ИЗОЛЯЦИИ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.М. Худоногов, С.Г. Еремеев, Е.М. Лыткина

THE CRITERIA OF THE OPTIMALITY AT CAPSULING OF ISOLATION OF FRONT PARTS OF WINDINGS OF ELECTRIC CARS OF THE TRACTION ROLLING STOCK

«Irkutsk state transport university»

A.M. Hudonogov, S.G. Eremeev, E.M. Lytkina

The basic criteria of an optimality are considered at capsuling isolation of front parts of electric drive on which basis the choice of parameters of technological process of increase of a resource of electric drive of a traction rolling stock is made.

Рассмотрены основные критерии оптимальности при капсулировании изоляции лобовых частей электрических машин, на основе которых производится выбор параметров технологического процесса повышения ресурса электрических машин тягового подвижного состава.

Для обеспечения высокой термо- и влагостойкости, вибростойкости, стабильной теплопроводности и повышения ресурса изоляции электрических машин тягового подвижного состава с открытыми головками секций нами был предложен новый локальный метод и средства капсулирования пропиточными жидкостями изоляции лобовых частей обмоток с использованием управляемого электромагнитного излучения.

На основании экспериментальных работ была выдвинута и сформулирована научная гипотеза о том, что каждому из значений плотности мощности ИК-излучения и скорости нагрева пропиточного материала соответствует один или несколько технологических процессов, или наоборот, каждому технологическому процессу соответствует одна или несколько плотностей мощности и скоростей нагрева материала. Критериями оптимальности следует считать предельно допустимые плотность мощности, скорость нагрева и метод ИК-энергоподвода для конкретного пропиточного состава [1, 2].

В соответствии с выдвинутой гипотезой необходимо установить связь между концентрацией мощности (плотностью мощности) и скоростью нагрева (жесткостью процесса) запекаемых пропиточных жидкостей, например компаундов. Сделать это можно при помощи математических моделей, построенных на базе дифференциального уравнения энергетического баланса.

В зависимости от целевого назначения процесса нами предлагается форма дифференциального уравнения энергетического баланса, которая записывается следующим образом

$$A_{\lambda} \cdot \eta \cdot P \cdot d\tau = c \cdot d\theta + P_n \cdot d\tau, \tag{1}$$

где A_{λ} – коэффициент поглощения энергии ИК-излучения компаундом;

η – КПД ИК-облучателя;

c – теплоемкость компаунда, Дж/К;

P – мощность ИК-облучателя, Вт;

P_n – мощность потерь, Вт;

θ – превышение температуры, К;

τ – время процесса, с.

Левая часть уравнения (1) показывает количество энергии, подведенное к покрытой компаундом лобовой части обмотки электрической машины, правая часть – расход энергии на нагрев и на различные потери.

Решение этого дифференциального уравнения относительно превышения температуры нагрева компаунда над температурой окружающей среды, при известных допущениях, дает следующее выражение

$$\theta = \theta_{\max} [1 - \exp(-\tau/T)] + \theta_{\text{нач}} \exp(-\tau/T), \quad (2)$$

где θ_{\max} – максимально возможное превышение температуры, К;

T – постоянная времени нагрева компаунда, с;

$\theta_{\text{нач}}$ – начальное превышение температуры, К.

Если температура компаунда и температура окружающей среды в начале процесса имеет одинаковое значение, что имеет место часто в практике, тогда $\theta_{\text{нач}} = 0$.

Уравнение (2) переписывается так

$$\theta = \theta_{\max} [1 - \exp(-\tau/T)]. \quad (3)$$

Максимально возможное превышение

$$\theta_{\max} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta \cdot P}{Q_F}, \quad (4)$$

где Q_F – теплоотдача с поверхности компаунда, Вт/К.

$$Q_F = \alpha_{\text{к.у.}} \cdot F, \quad (5)$$

где $\alpha_{\text{к.у.}}$ – суммарный коэффициент теплообмена, Вт/м²;

F – площадь теплообмена, м².

С учетом выражения (5) уравнение (4) переписывается как

$$\theta_{\max} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta \cdot P}{\alpha_{\text{к.у.}} \cdot F}. \quad (6)$$

Обозначим

$$\frac{A_{\lambda} \cdot \eta}{\alpha_{\text{к.у.}}} = \xi. \quad (7)$$

Тогда

$$\theta_{\max} = \xi \cdot \frac{P}{F}. \quad (8)$$

где P/F – плотность мощности, Вт/м²;

ξ – показатель, объединяющий группу коэффициентов, характеризующих свойства излучателей и компаундов и зависящих главным образом от согласования спектральных характеристик источников излучения и оптических свойств компаунда.

Для установления зависимости между плотностью мощности и скоростью нагрева компаунда необходимо продифференцировать уравнение (3) по τ

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_{\max}}{T} \exp(-\tau/T), \quad (9)$$

или

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \xi \cdot \frac{P}{F} \exp(-\tau/T). \quad (10)$$

С другой стороны уравнение (3) можно переписать в виде

$$(\theta_{\max} - \theta) = \theta_{\max} \exp(-\tau/T). \quad (11)$$

Поэтому с учетом выражения (11) уравнение (9) можно переписать как

$$\frac{d\theta}{d\tau} = \frac{\theta_{\max} - \theta}{T}. \quad (12)$$

При $\theta = 0$ получается зависимость между плотностью мощности и максимально возможной скоростью нагрева компаунда

$$g_{\max} = \frac{A_{\lambda} \cdot \eta}{\alpha_{\text{к.у.}}} \cdot \frac{P}{T}. \quad (13)$$

Или, максимально возможная скорость нагрева компаунда, в наиболее общем виде

представляется как

$$q_{\max} = \xi \cdot \frac{l}{T} \cdot \frac{P}{F}. \quad (14)$$

По уравнениям (8) и (14) можно с помощью вычислительной техники производить расчеты по максимально возможным значениям температуры и скорости нагрева компаунда при различных значениях плотности мощности. Методика определения постоянной времени нагрева компаунда по его физическим и геометрическим характеристикам подробно изложена ниже.

Итак, показано, что с помощью дифференциального уравнения энергетического баланса можно получить математическую модель для установления зависимости между подводимой мощностью и скоростью нагрева компаунда. Предельно допустимую скорость нагрева для конкретного технологического процесса можно определить путем деления предельно допустимой температуры на постоянную времени нагрева единичного материала.

К числу важнейших характеристик при тепловой обработке следует отнести и постоянную времени нагрева компаунда. Эта величина является одним из показателей, определяющих скорость нагрева компаундов. Постоянная времени нагрева, зависящая от физических и геометрических показателей компаундов, характеризует быстроту процесса нагревания.

Постоянная времени нагрева является характеристикой компаунда. Она не зависит от подводимой мощности и численно равна отношению теплоемкости к теплоотдаче

$$T = \frac{C}{Q_p}, \quad (15)$$

где C – теплоемкость компаунда, Дж/К;
 Q_p – теплоотдача компаунда, Дж/(К·с).

Физический смысл постоянной времени нагрева раскрывается следующим определением. Постоянная времени нагрева определяется как такое время, в течение которого превышение температуры компаунда достигло бы установившегося значения, если бы не было отдачи теплоты в окружающую среду (адиабатический процесс). Практически при наличии теплоотдачи за время равное постоянной времени нагрева превышение температуры компаунда достигает значения равного 0,632 от установившегося.

Уравнение (15) можно переписать в следующий вид

$$T = \frac{C}{Q_p} = \frac{c \cdot M}{\alpha \cdot F}, \quad (16)$$

где c – удельная теплоемкость компаунда, Дж/(кг·К);
 M – масса продукта, кг;
 α – коэффициент теплообмена компаунда, Дж/(м²·К·с);
 F – площадь внешней поверхности компаунда, м².

Массу компаунда можно представить как

$$M = \rho \cdot V, \quad (17)$$

где ρ – плотность компаунда, кг/м³;
 V – объем компаунда, м³.

Тогда выражение для постоянной времени нагрева можно представить в виде

$$T = \frac{c \cdot \rho}{\alpha} \cdot \frac{V}{F}. \quad (18)$$

Обозначим отношение $\sigma = V/F$, тогда выражение для постоянной времени нагрева запишем как

$$T = \frac{c \cdot \rho}{\alpha} \cdot \sigma. \quad (19)$$

По своей сути σ представляет собой обобщенный показатель геометрической характеристики компаунда. Этот показатель, как следует из вышеизложенного, можно определить при наличии геометрических размеров компаунда.

Однако, как следует из формулы (19), для определения постоянной времени нагрева компаунда кроме обобщенного показателя σ необходимо иметь данные по его удельной теплоемкости, плотности и коэффициенту теплообмена. Все эти три физических параметра зависят в основном от растворителя в компаунде. С увеличением количества растворителя

в компаундах увеличивается удельная теплоемкость, плотность и коэффициент теплообмена. Степень этих зависимостей можно найти в справочной и учебной литературе по теплофизическим свойствам компаундов. Используя вышеизложенную методику для определения постоянной времени нагрева, нами с помощью вычислительной техники произведен расчет постоянной времени нагрева некоторых компаундов в зависимости от растворителя. На основании уравнения (14) произведен расчет скоростей нагрева компаундов, по которым можно выбрать оптимальный режим капсулирования изоляции обмоток лобовых частей электрических машин тягового подвижного состава.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Худоногов, А.М. Мониторинг использования электровоза в зимних условиях / А.М. Худоногов, Д.В. Коноваленко // Мир трансп. -2008. -№3. -С. 69-70.

2 Восстановление изоляционных свойств обмоток якоря тягового электродвигателя / И.А. Худоногов, В.Н. Иванов, Ш.К. Исмаилов, В.П. Смирнов // Вестн. ИргТУ. -2006. -№4. -С. 60-63.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: обмотки электрических машин, подвижной состав

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Худоногов Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Еремеев Сергей Геннадьевич, соискатель ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО СТЫКА РЕЛЬСА С ПОМОЩЬЮ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

М.В. Сидоров, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина

THE DECISION OF PROBLEMS OF DETECTABILITY OF DEFECTS OF THE WELDED JOINT OF THE RAIL BY MEANS OF MODELLING PROBLEMS

«Irkutsk state transport university»

M.V. Sidorov, V.V. Sidorov, E.M. Lytkina

Principal causes of unsatisfactory work on revealing of defects in a zone of welded connection are considered. The analysis method with which help it is possible to study a field of dispersion from defect of section of two environments being near to border is offered.

Рассмотрены основные причины неудовлетворительной работы по выявлению дефектов в зоне сварного соединения. Предложен метод анализа, с помощью которого можно изучить поле рассеяния от дефекта находящегося вблизи границы раздела двух сред.

Обеспечение высокого и стабильного качества промышленной продукции является одной из основных проблем дефектоскопии. Одной из главных причин, снижающих качество продукции, являются скрытые дефекты. Большая часть отказов изделий в начальный период их эксплуатации и на более поздних этапах связана с проявлением скрытых дефектов производства. При этом под дефектом понимаются любые отклонения от заданных физических или других свойств изделия в целом или каких-либо его частей.

Система неразрушающего контроля элементов железнодорожного пути базируется в основном на ультразвуковых и магнитных средствах ручного и автоматизированного контроля и включает в себя контроль рельсов и стрелочных переводов в пути, при их восстановлении и сварке на рельсосварочных предприятиях (РСП).

Неразрушающий контроль рельсов представляет собой трехуровневую систему: средства первичного сплошного контроля (дефектоскопные автомотрисы и двухниточные съемные дефектоскопы); средства вторичного сплошного контроля (вагоны дефектоскопы); средства локального контроля (переносные дефектоскопы для контроля сварных стыков, однониточные съемные дефектоскопы для контроля стрелочных переводов, выборочного контроля по показаниям дефектоскопных автомотрис и вагонов-дефектоскопов) [1].

В среднем за год средствами дефектоскопии пути было проверено около 4,1 млн. км пути, 2,6 млн. стрелочных переводов, 3,2 млн. шт. сварных стыков по всей сети дорог.

Несмотря на большое число выявленных дефектов, эффективность неразрушающего контроля рельсов, особенно съемными средствами остается неудовлетворительной. В

среднем стоимость контроля 1 км пути по сети дорог России съёмными дефектоскопами обходится 1400 руб. (автомотрисами – 1150 руб., а вагонами дефектоскопами 750 руб.).

Изломы рельсов являются полным отказом рельсовой колеи. На их долю приходится почти 33% общего числа повреждений на железнодорожном транспорте.

За последние несколько лет на железных дорогах Российской Федерации возросло и продолжает увеличиваться количество сварных стыков рельсов. Следствием этого явилось повышение числа изломов сварных соединений по внутренним дефектам, что определяет необходимость более качественных проверок стыков.

Стоит отметить еще одну не маловажную особенность неудовлетворительной работы рельсовой дефектоскопии по сварным стыкам. При проведении контроля на РСП в год примерно обнаруживается и отбраковывается примерно 40 ОДР, после установки рельса в пути примерно 50% рельсов не проходят и половины своего заявленного срока службы (600 млн. т брутто) по причине обнаружения дефекта в зоне сварки (одними средствами сплошного контроля выявлено 217 ОДР по сварки). Данное обстоятельство еще раз подчеркивает необходимость более тщательного изучения и анализа вопроса связанного с технологией, методами и средствами рельсовой дефектоскопией сварных швов и зон сварки.

Существуют различные направления совершенствования рельсовой системы неразрушающего контроля. Одним из достаточно перспективных направлений является изучение физических основ обнаружения и определения характера неоднородностей.

В настоящее время большой интерес представляет вопрос обнаружения дефектов вблизи границы двух упругих полупространств. Этот интерес вызван в первую очередь необходимостью проведению более качественного и достоверного неразрушающего контроля. Проблема обнаружения дефектов вблизи границы раздела двух сред очень остро стоит при дефектоскопировании железнодорожного полотна. Вблизи сварных стыков оценка величины дефекта может быть ошибочной из-за многократного переотражения между дефектом и границей полупространства, а также измененной структуры самого рельса при проведении электроконтактной или алюминотермитной сварки.

Одним из способов описания рассеянного поля от дефекта находящегося вблизи раздела двух сред является составление компьютерной модели основанной на интегральном уравнении Гельмгольца с помощью которого можно описать звуковое поле в верхнем полупространстве в котором лежит дефект, а также при учете граничных условий заключающихся в отсутствии нормальных и тангенциальных составляющих тензора напряжений $\sigma_{rr} = \sigma_{r\phi} = 0$ [2].

Математические выкладки, описывающие рассеянное поле приведены в [3]. Для задачи дифракции звука на цилиндре, расположенном вблизи границы раздела сред, получено решение, учитывающее многократное переотражения и рассеяние волн между цилиндром и границей.

На рисунках 1 и 2 представлены результаты моделирования на основе графического представления рассеянного поля от цилиндрической полости находящийся вблизи границы раздела двух сред. Пунктирными линиями показаны диаграммы рассеяния плоской волны на медном цилиндре в свободном пространстве.

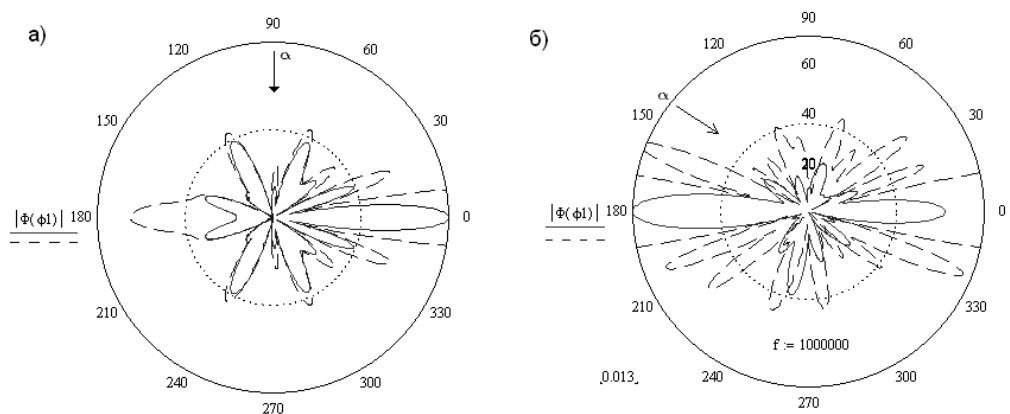


Рисунок 1 – Диаграммы рассеяния на цилиндрической полости вблизи границы раздела сред (материал сталь; $c_l = 5650$ м/с; $c_t = 3200$ м/с; плотность $\rho_t = 7800$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\sigma = 0,3$; $f = 1$ МГц; материал цилиндрического включения – медь; $c_l = 4720$ м/с; $c_t = 2440$ м/с; $a = 2$ мм): а)- $\phi_0 = 500$; б)- $\phi_0 = 700$; б)- $b = 2$ мм (сплошная линия); $b = 1,7$ мм (пунктирная линия); б)- $\phi_0 = 700$; б)- $b = 2$ мм (сплошная линия); $b = 1,7$ мм (пунктирная линия)

Стрелками обозначены направления падающей плоской волны. Отражение рассеянных волн на границе полупространства и многократные переотражения рассеянных волн приводят к значительному искажению диаграмм рассеяния.

Диаграммы рассеяния на цилиндре, находящемся вблизи границы раздела сред, являются более неравномерными, по сравнению с диаграммами рассеяния в свободном поле, а также при приближении к границе раздела сред, возникают дополнительные максимумы и минимумы на диаграммах, что является следствием многократных

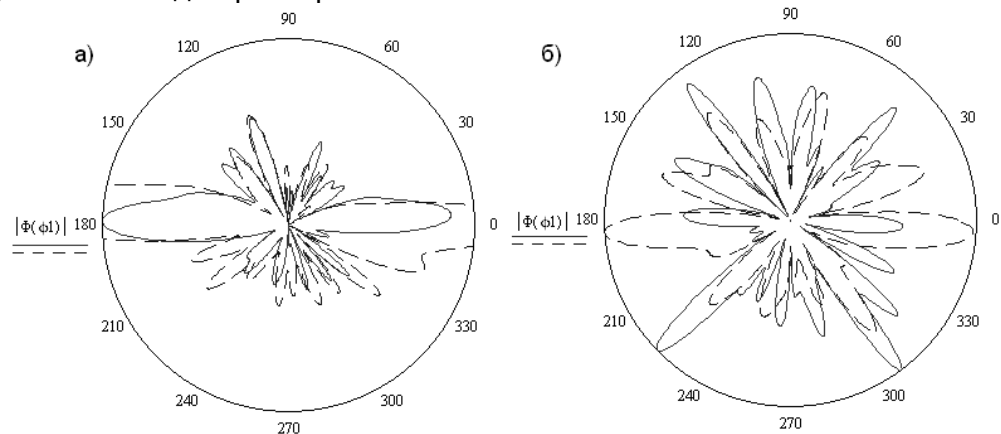


Рисунок 2 – Диаграммы рассеяния на цилиндрической полости вблизи границы раздела сред (материал сталь, $c_l = 5650$ м/с; $c_t = 3200$ м/с; плотность $\rho_t = 7800$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\sigma = 0,3$; $f = 2,5$ МГц; материал цилиндрического включения – медь; $c_l = 4720$ м/с; $c_t = 2440$ м/с; $a = 2$ мм): а)- $\phi_0 = 900$; $b = 2$ мм (сплошная линия); $b = 1$ мм (пунктирная линия); б)- $\phi_0 = 1400$; $b = 2$ мм (сплошная линия); $b = 1$ мм (пунктирная линия)

переотражений рассеянных волн и интерференции между ними. При увеличении между цилиндром и границе изменяется угловое расстояние между экстремумами кривых. со стороны упругого пространства происходит искажение (уменьшение) кривых, это связано в первую очередь с тем, что рассеянные волны оказываются в противофазе, что приводит к некоторому уменьшению(увеличению – если в фазе) кривых характеристик рассеяния.

Для практического изучения характеристик рассеяния на основе построенной математической модели был создан экспериментальный образец, представленный на рисунке 3. Образец представляет сварной шов, вблизи которого на разном расстоянии до шва были просверлены искусственные цилиндрические дефекты $d = 2,5$ мм. Просверленные полости были залиты расплавленной медью для приближения к реальному исследуемым дефектам. Данный тип дефекта выявляется с помощью РДМ-3, РДМ-33, Авикон-02Р, но выявление данного типа дефекта вблизи сварного шва является проблематичными из-за наличия переотражений и интерференций рассеянных волн между дефектом, следствием чего является пропуск дефекта, что является недопустимым при проведении неразрушающего контроля.

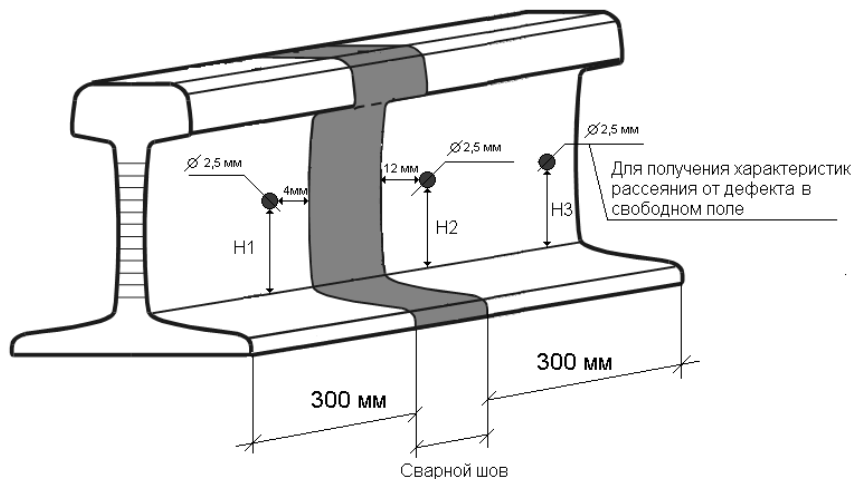


Рисунок 3 – Экспериментальный образец сварного стыка рельса с искусственными дефектами вблизи сварного шва

С помощью данного образца было подтверждено влияние границы раздела на рассеянное поле от дефекта. При сопоставлении амплитудных характеристик от дефекта диаметром 2,5 мм расположенного на расстоянии 12 мм от границы сварного шва и расчетной модели с аналогичными параметрами была установлена тесная взаимосвязь, подтверждающая правильность составленной компьютерной модели. Исследование проводилось с ис-

пользованием преобразователей с углом призмы 36°, 37°, ..., 44°; частота генерируемых ультразвуковых колебаний 2,5 МГц.

Большую проблему в решении задач моделирования оказывает сложность описания математических моделей из-за большого числа условий, бесконечных систем уравнений, граничных условий и т.д. Поэтому необходимо совершенствовать существующие модели. В нашем случае для упрощения представления и вычисления не были учтены такие факторы как, потери в материале (которые можно учесть, считая скорости волн комплексными величинами и задавая соответствующие коэффициенты затухания для продольной и поперечных волн), различные неравномерности в структуре, составе материала, влияние конечности во времени зондирующего импульса, влияние форм «реальных» дефектов.

На данном этапе производится совершенствование представленной модели характеристик рассеяния, путем приведения исследуемой модели к реально существующим объектам и дефектам возникающих в процессе создания и эксплуатации изделия (рельсовых сварных стыков).

Построение, изучение и анализ характеристик рассеяния от дефектов различного происхождения, расположения и структуры является основной предпосылкой для повышения надежности и достоверности неразрушающего контроля. Это направление со временем должно охватить все подразделения железной дороги и стать основой автоматизации неразрушающего контроля, особенно применительно к путевому хозяйству.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Марков, А.А. Ультразвуковая дефектоскопия рельсов / А.А. Марков, Д.А. Шпагин. -2-е изд., перераб. и доп. -СПб.: Образование-Культура, 2008. -283 с.
 2 Шендеров, Е.Л. Разработка физических моделей для расчета характеристик обратного рассеяния на телах, расположенных близи границы раздела сред / Е.Л. Шендеров // Гидроакустика. -2002. -Вып.3. -С. 81-112.
 3 Сидоров, М.В. Моделирование в задачах ультразвукового контроля / М.В. Сидоров // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -Вып.1. -С. 224-227.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *моделирование, сварной стык рельса*
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Сидоров Михаил Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
 Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
 Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»*

ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

В.В. Сидоров

DISPERSION FUNCTION EVALUATION IN PROBLEMS MODELING OF THE SOUND FIELD NEAR TO BORDER OF SECTION OF TWO ENVIRONMENTS
 «Irkutsk state transport university»
 V.V. Sidirov

The technique of function evaluation of dispersion from a cylindrical cavity being near to border of section of two environments by decomposition on two functions (symmetric and antisymmetric) is resulted.

Приведена методика вычисления функции рассеяния от цилиндрической полости находящейся вблизи границы раздела двух сред путем разложением на две функции (симметричную и антисимметричную).

В работе [3] была представлена функция, описывающая дальнейшее рассеянное поле при дифракции плоской волны на цилиндрической полости, находящейся вблизи поверхности упругого полупространства

$$g_i^{(0)} \approx \sqrt{\frac{2}{\pi k r_1}} \exp\left(ikr_1 - \frac{i\pi}{4}\right) \Phi_s(\varphi_1), \tag{1}$$

где
$$\Phi_s(\varphi_1) \approx \sum_{q=-\infty}^{\infty} a_q (-i)^q \left[\exp(iq\varphi_1) + (-1)^q A_p'(\varphi_1) \exp(iq\varphi_1) \right]. \tag{2}$$

В системе уравнений (24) из работы [3] индексы принимают как положительные, так и отрицательные значения, в то время как существующие программы решения систем уравнений оперируют с положительными значениями индексов. При простой перенумерации путем постоянного сдвига наиболее существенные члены (например α_0, α_1) окажутся в середине системы, что неэффективно при решении бесконечной системы уравнений методом усечения. Поэтому целесообразно преобразовать систему так, чтобы индексы имели положительные значения и наиболее существенные члены находились в начале системы. Помимо этого разбив две системы на антисимметричную $\Phi_s^{(-)}(\varphi_1)$ и симметричную $\Phi_s^{(+)}(\varphi_1)$ относительно направления $\varphi_0 = 0$ мы получим некоторый выигрыш во времени решения при больших порядках системы, причем

$$\Phi_s(\varphi_1) = \Phi_s^{(+)}(\varphi_1) + \Phi_s^{(-)}(\varphi_1), \quad (3)$$

где $\Phi_s^{(+)}(\varphi_1) = [\Phi_s(\varphi_1) + \Phi_s(-\varphi_1)]/2$; $\Phi_s^{(-)}(\varphi_1) = [\Phi_s(\varphi_1) - \Phi_s(-\varphi_1)]/2$.

Подставив в выражение (3) разложение (2) из работы [3] и учитывая соотношение

$$\dot{A}_p(\varphi_1) = \dot{A}_p(-\varphi_1),$$

получим $\Phi_s^{(+)}(\varphi_1) = \sum_{q=0}^{\infty} \varepsilon_q b_q (-i)^q [1 + (-1)^q \dot{A}_p(\varphi_1)] \cos(q\varphi_1)$; (3а)

$$\Phi_s^{(-)}(\varphi_1) = 2i \sum_{q=1}^{\infty} c_q (-i)^q [1 - (-1)^q \dot{A}_p(\varphi_1)] \sin(q\varphi_1), \quad (3б)$$

где $\varepsilon_q = 1$ при $q = 0$ и $\varepsilon_q = 2$ при $q > 0$, а коэффициенты будут иметь вид

$$b_q = [a_q + (-1)^q a_{-q}]/2; \quad c_q = [a_q - (-1)^q a_{-q}]/2. \quad (4)$$

Выделим в системе из работы [3] строку с номером $-q$, умножим ее на $(-1)^q$ и сложим со строкой с номером q . Получим систему уравнений, описывающую коэффициенты разложения для симметричной части диаграммы рассеяния

$$\sum_{n=0}^{\infty} b_n E_{qn} = K_q; \quad q = 0K\infty, \quad (5)$$

где $E_{qn} = \begin{cases} \delta_{0q} - a_q^{(0)} (-1)^q f_q; \\ \delta_{qn} - a_q^{(0)} (-1)^{q+n} [f_{q+n} + (-1)^q f_{n-q}], \end{cases}$ (6)

при $n \geq 0$ соответственно

$$K_q = a_q^{(0)} (-i)^q [1 + (-1)^q \dot{A}_p(\varphi_0)] \cos(q\varphi_0). \quad (7)$$

В формулах (5)-(7) коэффициенты $a_q^{(0)}$ рассчитаны ниже, δ_{qn} -символ Кронекера. Для вычисления коэффициентов f_{q-n} при отрицательных значениях индекса следует учитывать соотношение

$$f_{q-n} = (-1)^{n-q} f_{q-n}.$$

Далее снова выделим в системе строку с номером $-q$, умножим ее на $(-1)^q$ и вычтем из строки с номером q . Получим систему уравнений, определяющую коэффициенты разложения для антисимметричной части диаграммы рассеяния:

$$\sum_{n=1}^{\infty} c_n L_{qn} = M_q; \quad q = 1K\infty, \quad (8)$$

где $L_{qn} = \delta_{qn} - a_q^{(0)} (-1)^{q+n} [f_{n+q} - (-1)^q f_{n-q}]$; (9)

$$M_q = -i a_q^{(0)} (-i)^q [1 - (-1)^q \dot{A}_p(\varphi_0)] \sin(q\varphi_0). \quad (10)$$

Таким образом, функция рассеяния описывается соотношениями (1), (3а) и (3б), где коэффициенты находятся из решения бесконечных систем уравнений.

Рассмотрим теперь вычисление коэффициентов f_{n+q} . Разобьем его на интегралы по участкам $(-\pi/2 + i\infty, -\pi/2)$ и $(\pi/2, -\pi/2)$ и $(\pi/2, \pi/2 - i\infty)$. В первом из них сделаем замену переменных $\Theta = \pi/2 + i\alpha$, а в третьем – замену $\Theta = -\pi/2 - i\alpha$. Функция $A_p(\Theta)$ симметрична отно-

сительного знака Θ . Обозначив ее значение при $\Theta = \pm(\pi/2 - i\alpha)$ через $A_p^{(1)}(\alpha)$, получим

$$f_s = (-i)^s (I_1 - iI_2) \div \pi, \quad (11)$$

где
$$I_1 = \int_0^{\pi/2} A_p(\Theta) \exp(i2kb \cos \Theta) \cos(n\Theta) d\Theta; \quad (12)$$

$$I_2 = \int_0^{\infty} A_p^{(1)}(\alpha) \exp(-2kb \sinh \alpha) [\exp(i\pi/2 + n\alpha) + (\exp(-i\pi/2 + n\alpha))] d\alpha. \quad (13)$$

Функция $A_p^{(1)}(\alpha)$ определяется выражением

$$A_p^{(1)}(\alpha) = \frac{iw_p \sinh \alpha - 1}{iw_p \sinh \alpha + 1}, \quad (14)$$

а углы преломления Θ_i и Θ_t , записываются в виде

$$\sin \Theta_i = (c_i/c) \cosh \alpha; \quad \sin \Theta_t = (c_t/c) \cosh \alpha. \quad (15)$$

Определение коэффициента нулевого порядка $a_q^{(0)}$ и импеданса поверхности упругого цилиндра Zn приведены в [1, 2]. Упростив разложение (2) и определив неизвестные коэффициенты из бесконечной системы уравнений (в нашем случае решив две системы уравнений и определив коэффициенты разложений по (4)) мы получим функцию, описывающая дальнейшее рассеянное поле при дифракции плоской волны на цилиндрической полости, находящейся вблизи поверхности упругого полупространства со всеми известными (рисунок).

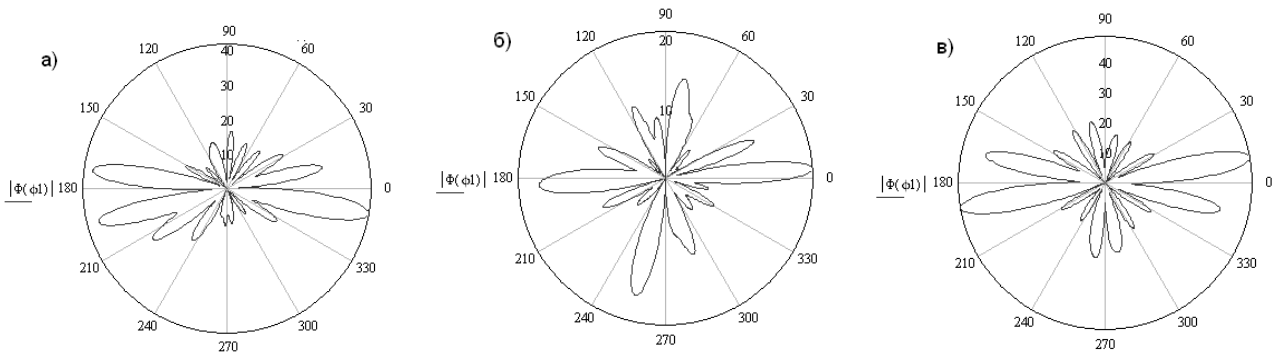


Рисунок – Диаграммы рассеяния на цилиндрической полости вблизи границы раздела сред (материал сталь; $cl = 5650$ м/с; $ct = 3200$ м/с; плотность $\rho t = 7800$ кг/м³; коэффициент Пуассона $\sigma = 0,3$; $f = 2,5$ МГц; материал цилиндрического включения – медь; $cl = 4720$ м/с; $ct = 2440$ м/с; $a = 2,5$ мм): а)- $kb = 1,609$; б)- $kb = 3,219$; в)- $kb = 6,438$

На основе построенной математической модели проводится анализ рассеянного поля от дефекта находящегося вблизи границы раздела двух сред. В нашем случае для упрощения представления и вычисления не были учтены такие факторы как, потери в материале (которые можно учесть, считая скорости волн комплексными величинами и задавая соответствующие коэффициенты затухания для продольной и поперечных волн), различные неравномерности в структуре, составе материала, влияние конечности во времени зондирующего импульса, влияние форм «реальных» дефектов. В последующем для максимального приближения к реальным рассеянным полям данные условия будут введены в расчетную модель.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шендеров, Е.Л. Волновые задачи гидроакустики / Е.Л. Шендеров. -Л.: Судостроение, 1972. -206 с.
- 2 Шендеров, Е.Л. Разработка физических моделей для расчета характеристик обратного рассеяния на телах, расположенных близи границы раздела сред / Е.Л. Шендеров // Гидроакустика. -2002. -Вып.3. -С. 81-112.
- 3 Сидоров, М.В. Моделирование в задачах ультразвукового контроля / М.В. Сидоров // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. 2009. №1. -С. 224-227.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование звукового поля, раздел сред
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

В.К. Фёдоров, А.В. Бубнов, В.К. Грунин, П.В. Рысев, Е.Ю. Свешникова,
А.С. Никишкин, С.Ю. Прусс, Д.В. Рысев, Д.В. Фёдоров

MODELLING OF DETERMINED CHAOS MODES IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

«Omsk state technical university»

V.K. Fedorov, A.V. Bubnov, V.K. Grunin, P.V. Rysev, E.J. Sveshnikova, A.S. Nikishkin, S.J. Pruss, D.V. Rysev, D.V. Fedorov

The case when decisions completely determined systems of nonlinear differential equations with the given entry conditions, describing electropower systems, behave in the unpredictable, casual image is considered.

Рассмотрен случай, когда решения полностью детерминированных систем нелинейных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями, описывающих электроэнергетические системы, ведут себя непредсказуемым, случайным образом.

Целью настоящей статьи является развитие теоретических представлений о режимах детерминированного хаоса в переходных электромеханических процессах электроэнергетических систем (ЭЭС) в аспекте возникновения и идентификации хаоса.

При наличии нелинейностей существует некоторый диапазон параметров, при котором решение системы нелинейных дифференциальных уравнений оказывается хотя и ограниченным, но неперiodическим и непредсказуемым. Имеет место явление детерминированного хаоса [1]. Кроме того, решение оказывается столь чувствительным к вариациям начальных условий, что долговременное прогнозирование точного решения становится невозможным [2].

Математическая модель хаотической ЭЭС представляет собой детерминированную систему нелинейных дифференциальных уравнений с заданными начальными условиями, решение которой ведет себя непредсказуемым и случайным образом – такой тип решения называется режимом детерминированного хаоса. Таким образом, режимы детерминированного хаоса – это новый тип и особая форма поведения ЭЭС.

Для электроэнергетических систем обнаружение хаотических режимов является актуальной задачей. Так как основная характеристика детерминированного хаоса – непредсказуемость, то детерминированный хаос определенно недопустимое явление с точки зрения динамической устойчивости ЭЭС. В частности, когда колебания мощности приобретают хаотический характер, то может иметь место потеря устойчивости в ЭЭС [3].

Для анализа хаотических режимов рассмотрена нерегулируемая ЭЭС «две машины – шины бесконечной мощности».

Математическая модель этой ЭЭС, представленной в [4], имеет вид:

$$T_{j1} \frac{d^2 \delta_1}{dt^2} + T_{d1} \frac{d \delta_1}{dt} + P_1 \sin \delta_1 + P_{12} \cdot \sin(\delta_1 - \delta_2) = \varepsilon_{01}; \quad T_{j2} \frac{d^2 \delta_2}{dt^2} + T_{d2} \frac{d \delta_2}{dt} + P_2 \sin \delta_2 + P_{21} \cdot \sin(\delta_2 - \delta_1) = \varepsilon_{02}, \quad (1)$$

где $\delta_1, \delta_2, T_{j1}, T_{j2}, T_{d1}, T_{d2}$ – соответственно отклонения углов поворота роторов, постоянные инерции, коэффициенты демпфирования 1-го и 2-го генераторов;

P_{c12}, P_{c21} – синхронизирующие мощности между генераторами;

$P_1 \sin \delta_1, P_2 \sin \delta_2$ – соответственно изменения мощности, выдаваемой в сеть 1-м и 2-м генераторами;

$\varepsilon_{01}, \varepsilon_{02}$ – соответственно начальные значения мощности, выдаваемой в сеть 1-м и 2-м генераторами при возникновении возмущения в сети.

Обозначим через $\omega_1 = d\delta_1/dt$ отклонения угловой частоты $\omega(t)$. Тогда система дифференциальных уравнений (1) преобразуется в систему дифференциальных уравнений в нормальной форме Коши

$$\begin{aligned} \frac{d\delta_1}{dt} &= \omega_1; & \frac{d\omega_1}{dt} &= -D\omega_1 - B_1 \sin \delta_1 - B_{12} \sin(\delta_1 - \delta_2) + K_1; \\ \frac{d\delta_2}{dt} &= \omega_2; & \frac{d\omega_2}{dt} &= -D\omega_2 - B_2 \sin \delta_2 - B_{21} \sin(\delta_2 - \delta_1) + K_2, \end{aligned} \quad (2)$$

где $X = (\delta_1, \omega_1, \delta_2, \omega_2)$ – вектор переменных состояния;

R – совокупность параметров ЭЭС,

$$R = \left(D_1 = \frac{T_{d1}}{T_{j1}}, B_1 = \frac{P_1}{T_{j1}}, B_{12} = \frac{P_{c1}}{T_{j1}}, K_1 = \frac{\varepsilon_{01}}{T_{j1}}, D_2 = \frac{T_{d2}}{T_{j2}}, B_2 = \frac{P_2}{T_{j2}}, B_{21} = \frac{P_{c2}}{T_{j2}}, K_2 = \frac{\varepsilon_{02}}{T_{j2}} \right).$$

Нерегулируемая ЭЭС «две машины-шины бесконечной мощности» исследовалась с помощью программного комплекса MathCAD. В результате обнаружены хаотические колебания отклонений углов поворота роторов и отклонений угловых частот генераторов ЭЭС, показанные на рисунке 1. Необходимо отметить, что хаотические режимы ЭЭС возникают только при совпадении нескольких факторов, связанных с изменением значений параметров ЭЭС.

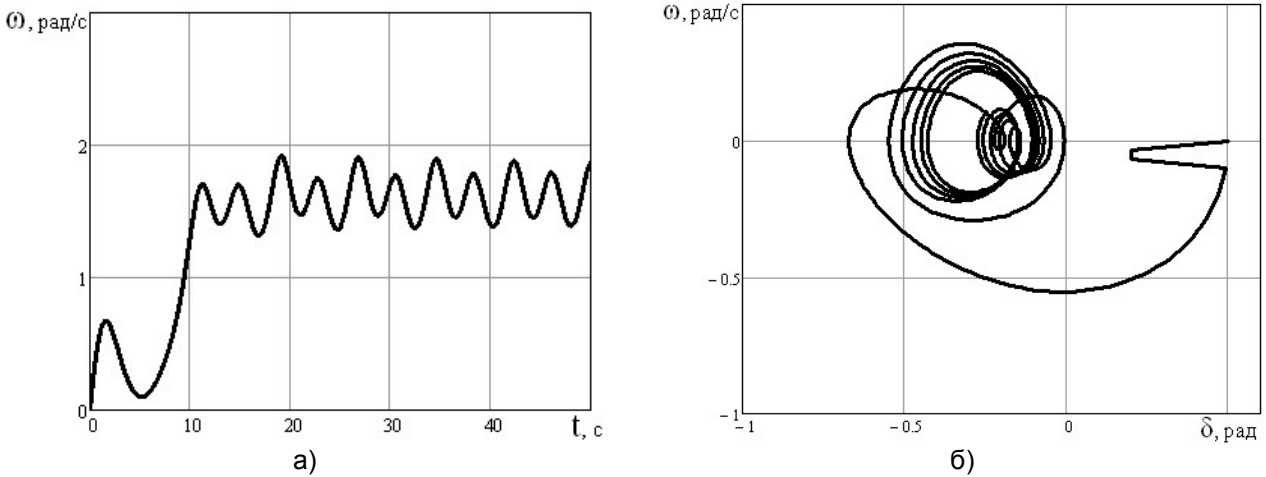


Рисунок 1 – Хаотический характер отклонений угловой частоты (а) генератора 2 и фазовый портрет хаотической траектории в системе (б)

Фазовые портреты решений системы дифференциальных уравнений (2) при незначительном отличии начальных условий, показанные на рисунке 2а, указывают на ярко выраженную расходимость траекторий полученных решений в фазовом пространстве.

При решении системы нелинейных дифференциальных уравнений (2) обнаружено интересное явление – при превышении некоторого критического времени $t > t_{kp}$ может происходить вырождение хаотического колебания с последующей потерей устойчивости генераторов ЭЭС.

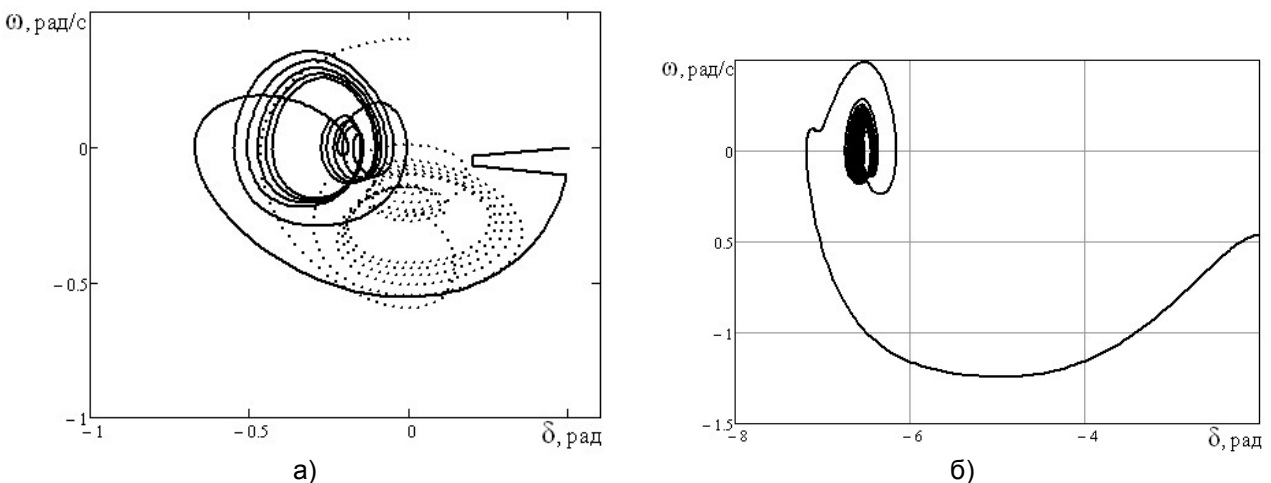


Рисунок 2 – Фазовые портреты хаотической траектории

Соответствующее этому явлению решение системы нелинейных дифференциальных уравнений (2) в виде фазового портрета приведено на рисунке 2б. Заметим, что вырождение хаотических колебаний не носит обязательного характера.

Исследование хаотических процессов ЭЭС и анализ следствий из них вытекающий, указывает на присутствие в теории детерминированного хаоса ЭЭС так называемого «эффекта бабочки». К примеру, незначительные изменения начальных условий приводят с течением

времени к непредсказуемому расхождению траекторий в фазовом пространстве ЭЭС. С этим же «эффектом бабочки» связана внезапная потеря устойчивости генераторов. В сущности, обнаружена генетическая связь между «эффектом бабочки» и детерминированным хаосом и такая связь, как можно предположить, характерна не только для ЭЭС, но и в целом для нелинейных диссипативных систем любой природы.

Идентифицировано существование хаотических режимов ЭЭС как возможного дополнительного состояния ЭЭС даже тогда, когда существуют точки устойчивого равновесия. Хаотический режим может завершиться потерей устойчивости ЭЭС. Проведенный анализ, в сущности, указывает на то, что хаотические режимы занимают промежуточное положение между устойчивыми и неустойчивыми режимами ЭЭС. Для любой ЭЭС при определенном сочетании ее параметров и начальных условий можно отыскать некоторое множество хаотических режимов и, следовательно, хаотические режимы есть явление не единичное, а есть явление всеобщее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Чуа, Л.О. Машинный анализ электронных схем: алгоритмы и вычислительные методы / Л.О. Чуа – М.: Энергия, 1980. – 640с.

2 Федоров, В.К. Детерминированный хаос в нелинейных электрических цепях и системах / В.К. Федоров, П.В. Рысев, Е.Ю. Свешникова – Омск: ОмГТУ, 2006. – 130с

3 Федоров, В.К. Особенности диссипации энергии в нелинейных электрических цепях / В.К. Федоров, П.В. Рысев, Е.Ю. Свешникова // Омский научный вестник. – 2005. – № 1(14). – С. 80–82.

4 2 Liu, C. Detection of transiently chaotic swings in power systems using real time phasor measurements / C. Liu // IEEE Trans. Power Syst. – 1994. – vol 9. №3. – P. 1285–1292.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: режимы электроэнергетических систем, детерминированный хаос, эффект бабочки, устойчивость электроэнергетических систем

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фёдоров Владимир Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Бубнов Алексей Владимирович, докт. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Грунин Владимир Кузьмич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Рысев Павел Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Свешникова Елена Юрьевна, канд. техн. наук, старший преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Никишкин Алексей Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Прусс Светлана Юрьевна, инженер ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Рысев Дмитрий Валерьевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Фёдоров Дмитрий Владимирович, студент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.Н. Бренков

IMPROVEMENT THE DEVICE OF FILTRATION AND COMPENSATION DEVELOPED BY LIMITED COMPANY «NIIEFA-ENERGO»

«Omsk state transport university»

S.N. Brenkov

On-stream the device of filtration and compensation (DFC) developed by limited company «NIIEFA-ENERGO» was showing up a number of shortcoming. It has a vital influence on operation of DFC. In connection with that a necessity of their improvement is emerged.

В процессе эксплуатации фильтрокомпенсирующих устройств разработки ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО», был выявлен ряд недостатков, существенно влияющий на их работу. В связи с этим возникла необходимость их совершенствования.

ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» разработало и с 2004 года серийно выпускает устройство для фильтрации высших гармоник тока и компенсации реактивной мощности (УФК), предназначенное для использования в системе тягового электроснабжения переменного тока. УФК вводится в эксплуатацию по сети железных дорог России при замене существующих устройств компенсации реактивной мощности, либо в качестве вновь устанавливаемых.

Однако опыт эксплуатации данных устройств на тяговых подстанциях сети дорог показывает что их применение затруднено, а порой и невозможно из-за частых их отключений в

результате действия максимальной токовой защиты второго звена (контур $L2-CB2$, реле $KA6$, рисунок 1а). Причина срабатывания защиты заключается в том, что частоты первого и второго резонансов напряжения - $f_{p,n.1.1}$ и $f_{p,n.2.1}$, (рисунок 2, кривая 2) близки к частотам гармоник 150 Гц и 250 Гц. Поэтому доли токов 3-й и 5-й гармоник, генерируемых тяговой нагрузкой и протекающих через УФК, перегружают элементы устройства.

Согласно руководству по эксплуатации УФК, при превышении тока плеча более 450 А необходимо параллельно данному устройству подключить аналогичное второе. А при значениях тока больших 900 А – третье. Такое решение требует больших капитальных затрат, связанных с приобретением дополнительных устройств, и больших площадей, отводимых под УФК и практически неприемлемо.

В связи с этим, установленные устройства либо эксплуатируются только при малых тяговых нагрузках либо выводятся из работы совсем.

С учетом вышесказанного ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО» с 2008 года начало серийное производство УФК на ток ввода до 800 А, силовая схема которого не отличается от предыдущего, но уменьшена емкость $CB1$ (с 11,93 мкФ до 11,18 мкФ) и увеличена индуктивность $L1$ (с 22,3 мГн до 50,35 мГн).

С новыми параметрами располагаемая мощность установки на основной частоте не изменилась, но сопротивления устройства на частотах 150 Гц и 250 Гц увеличены, что позволяет снизить загрузку устройства токами высших гармоник и эксплуатировать УФК при больших тяговых нагрузках.

Однако остается вопрос о том, каким образом эксплуатировать уже смонтированные по сети железных дорог устройства с предыдущими параметрами.

Как было отмечено выше, основной причиной частых отключений УФК являлось низкое значение сопротивления устройства на частотах 3 и 5 гармоник. Для устранения этого суще-

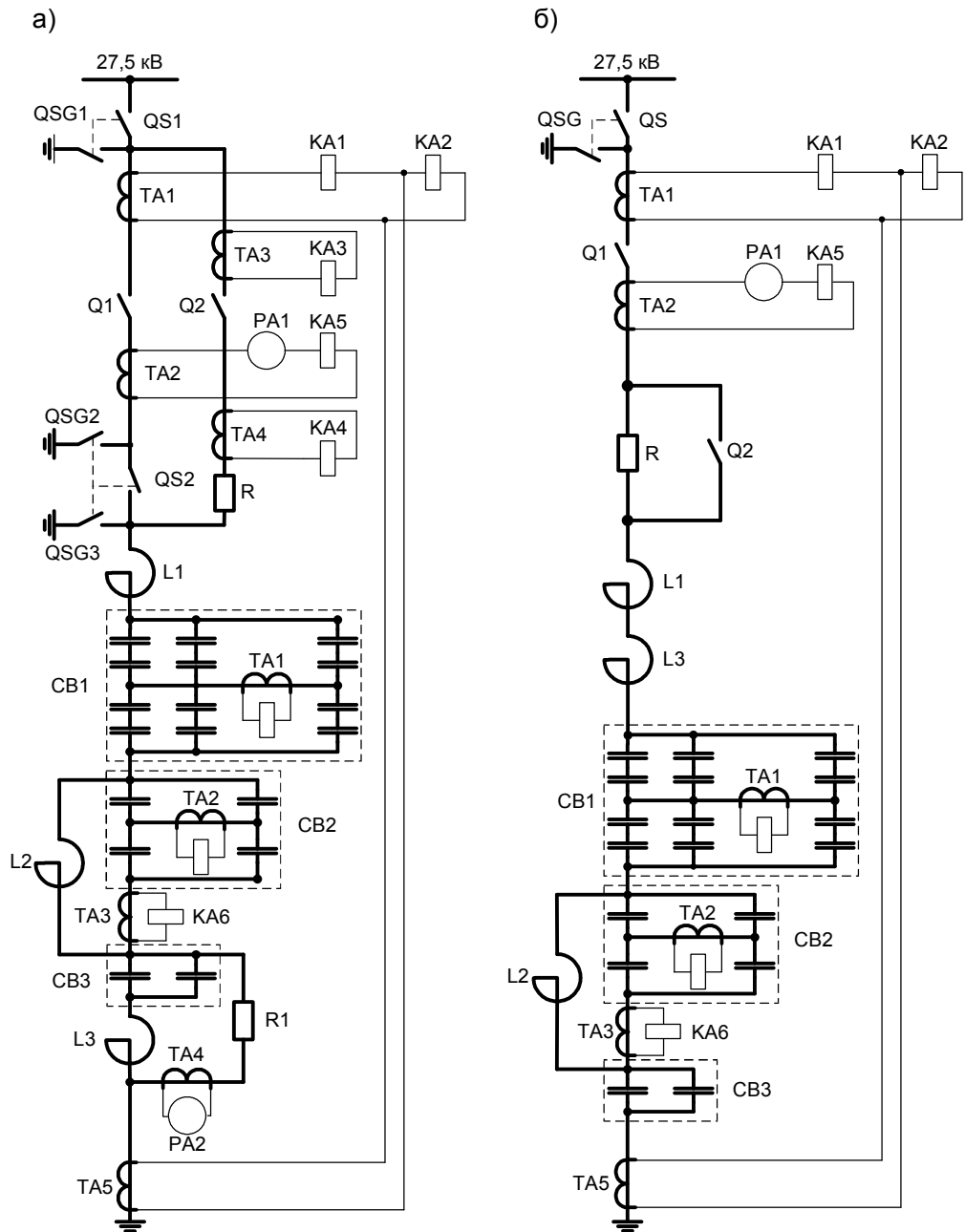


Рисунок 1 – Схемы типового (а) и усовершенствованного (б) УФК-27,5

ственного недостатка, целесообразно сместить частоты резонансов напряжения в сторону более низких частот – $f_{p,n.2.1}$ и $f_{p,n.2.2}$ (рисунок 2, кривая 2), увеличив тем самым значения сопротивления УФК на частотах 150 и 250 Гц ($Z_{150.2} > Z_{150.1}$ и $Z_{250.2} > Z_{250.1}$, см. рисунок 2).

Решение задачи возможно за счет увеличения емкости основной конденсаторной батареи СВ1 (рисунок 1а), либо за счет увеличения индуктивности реактора L1. В обоих случаях возникнет необходимость изменения параметров и приобретения дополнительного оборудования,

что связано с большими капитальными затратами.

Для решения этой задачи предлагается использовать явление взаимной индукции. Для этого реактор L3 устанавливается на реакторе L1 и включается по отношению к нему последовательно-согласно.

Вышеуказанное предложение реализовано на тяговой подстанции Плотинная Каменской дистанции электроснабжения, где было смонтировано типовое УФК и по указанным выше причинам было выведено из работы.

После проведения реконструкции произведены эксперименты по измерению взаимной индуктивности между реакторами L1 и L3. Замеры производились двумя известными способами с применением прибора РЕТОМ-51.

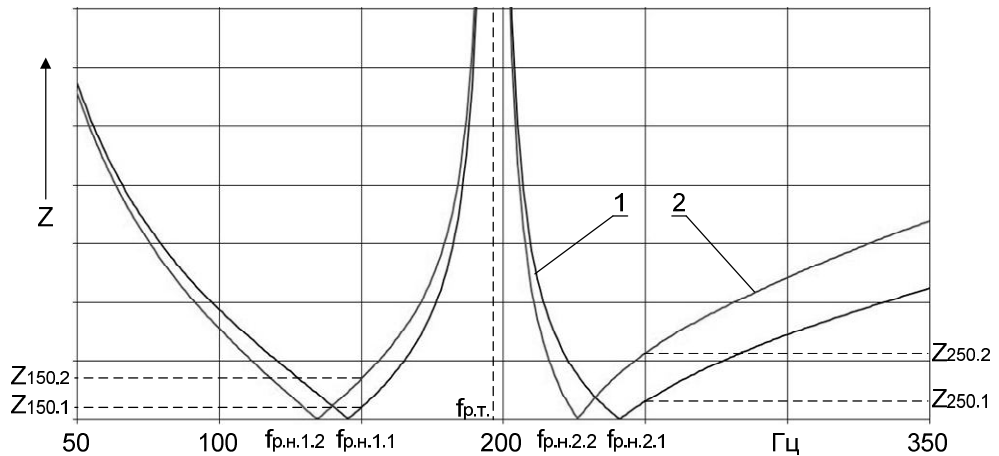


Рисунок 2 – Частотные характеристики двухрезонансных фильтрокомпенсирующих устройств

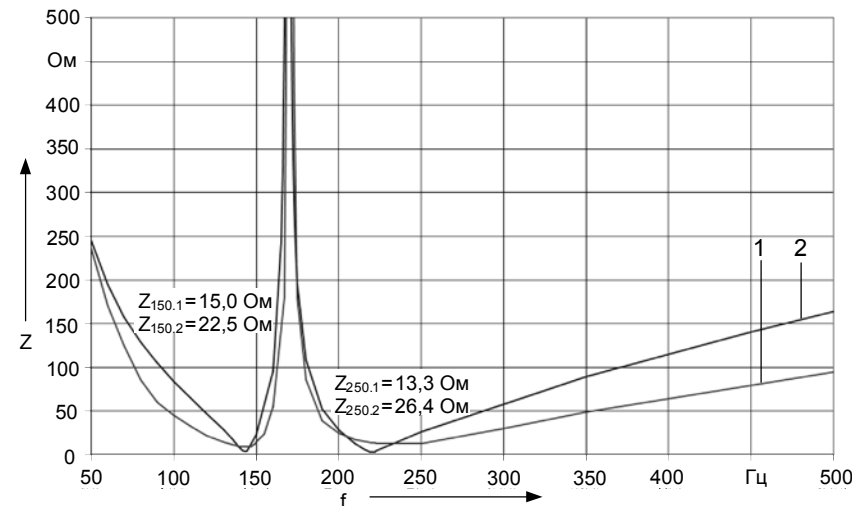


Рисунок 3 – Реальные частотные характеристики типового (1) и усовершенствованного (2) УФК-27,5

По результатам замеров, величина взаимной индуктивности между реакторами составила 4,55 мГн. Таким образом, при последовательно-согласном включении реакторов L1 и L3 их суммарная индуктивность увеличилась на 9,1 мГн. После снятия частотной характеристики усовершенствованного УФК было выявлено, что такое решение позволило сместить частоту первого резонанса напряжения на 6 Гц, а второго на 16 Гц и обеспечить увеличение сопротивления УФК на частотах 150 и 250 Гц до

приемлемых значений. При этом значение сопротивления УФК на основной частоте снижается, а номинальный ток устройства увеличивается незначительно – на 3 %.

Экспериментальные частотные характеристики типового и усовершенствованного устройства приведены на рисунке 3.

Дополнительно из схемы исключается резистор R и, как следствие, трансформатор тока ТА4 с соответствующими ему вторичными цепями.

Помимо вышеуказанного устройства УФК имеют ряд несущественных схемных и конструктивных недостатков. Так, например, алгоритм включения и отключения устройства осу-

ществляется в три этапа. При включении сначала включается выключатель Q2 (рисунок 1а), затем включается выключатель Q1 и в конце отключается выключатель Q2. Отключение устройства производится в обратном порядке. При таком алгоритме возникает необходимость в:

- применении дополнительных защит в цепи выключателя Q2 (реле КА3 и КА4, см. рисунок 1а);
- использовании задержки времени при работе дифференциальной защиты (реле КА2, см. рисунок 1а).

Для устранения этого недостатка предлагается применить двухэтапный алгоритм включения и отключения установки. При этом выключатель Q1 и резистор R1 включаются последовательно, а выключатель Q2 шунтирует резистор R1 (см. рисунок 1б). Включение устройства производится в следующем порядке: включается выключатель Q1, затем включается выключатель Q2. Отключение – в обратном порядке. Рекомендуемый алгоритм, по сравнению с предыдущим позволит:

- вводить дифференциальную защиту устройства сразу же после включения выключателя Q1 через его блок-контакты, исключая задержку времени, предусмотренную при проектировании;
- вдвое уменьшить число коммутаций выключателя Q2, что способствует снижению его механического износа;
- упростить схему защиты и управления устройством и, как следствие, повысить надежность ее работы.

Назначение разъединителя QS2 и заземляющих ножей QSG2 и QSG3 в цепи устройства не понятно, поэтому с целью упрощения конструкции и снижения эксплуатационных расходов, связанных с обслуживанием установки, вышеуказанные элементы исключаются из схемы.

Схема УФК с учетом внесенных изменений приведена на рисунке 1б.

Таким образом, произведенное нами изменение конструкции УФК, позволило:

- уменьшить загрузку устройства высшими гармониками и тем самым обеспечить его эксплуатацию без частых отключений от перегрузки;
- исключить из схемы часть оборудования, что позволило упростить конструкцию устройства и облегчить его обслуживание;
- повысить надежность работы вторичных цепей управления и защиты устройства;
- уменьшить площадь территории подстанции, занимаемую УФК, с 76 до 59 м².

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *фильтрокомпенсирующее устройство, резонанс напряжения, частотная характеристика, индуктивность, взаимная индукция*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бренков Сергей Николаевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644042, г. Омск, пр. Карла Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ВЫБОР БАЗОВОГО ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ЗАМКНУТЫХ СЕТЯХ ОТ 6 ДО 35 кВ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗА

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
«Инновационный Евразийский университет»

**С.Б. Долгушин, И.Н. Дмитриев, Е.Ю. Кислицин, Е.В. Иванова,
А.А. Левченко, С.В. Любаков, В.Г. Сальников**

**SELECT THE BASE OBJECT STUDY ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY IN CLOSED NETWORKS FROM 6 TO 35 kV
NORTHERN GAS**

«Novosibirsk state academy of water transport»

«Innovative Euroasian university»

S.B. Dolgushin, I.N. Dmitriev, E.Yu. Kislitsin, E.V. Ivanova, A.A. Levchenko, S.V. Lyubakov, V.G. Salnikov

Considered a closed network from 6 to 35 kV northern gas. As the base object of research in these networks to electromagnetic compatibility selected electric Yamburg deposits.

Рассмотрены замкнутые сети от 6 до 35 кВ северных месторождений газа. В качестве базового объекта исследований электромагнитной совместимости в этих сетях выбрана система электроснабжения Ямбургского месторождения.

Нарастающие темпы добычи, транспортировки и первичной переработки природных ресурсов (нефть, газ, полиметаллы, алмазы и т.д.) в районах Сибири и Дальнего Востока, удаленных от действующих региональных электроэнергетических систем России, обуславливают интенсивную их электрификацию. При этом под электрификацией понимается широкое внедрение в производства и быт электрической энергии. С технической стороны электрификация представляет собой единый во времени процесс производства, распределения и потребления электроэнергии. Играет ведущую роль в осуществлении современного технического прогресса в северных районах России.

Электрификация условно разделяется на электроснабжение и потребление или использование электрической энергии. Систему электроснабжения (СЭС) образуют совокупность устройств для производства и распределения электрической энергии. Требуется обеспечить нормируемую степень надежности электроснабжения потребителем электрической энергии и электромагнитную совместимость (ЭМС) приемников электроэнергии (технических средств).

Среди потребителей электроэнергии имеются электроприемники первой категории, а также особой группы этой категории, перерыв электроснабжения которых может повлечь за собой: опасность для жизни людей, значительный ущерб народному хозяйству, повреждение дорогостоящего оборудования и т.д. Имеются также электроприемники второй и третьей категорий.

В соответствии с «Правилами устройства электроустановок» электроприемники 1-й категории обеспечиваются электроэнергией от двух независимых взаимно резервирующих источников питания, а электроприемники особой группы имеют дополнительное питание от третьего независимого взаимно резервирующего источника питания. В качестве 3-го независимого источника питания для особой группы электроприемников и в качестве 2-го независимого источника питания для остальных электроприемников 1-й категории используются местные электростанции. При этом следует отметить, что электроснабжение удаленных северных регионов России стремятся осуществить также по воздушным линиям (ВЛ) электропередачи напряжением 110 кВ и выше.

Эффективная работа электроприемников всех категорий во многом зависит от работы распределительных электрических сетей средних классов напряжения от 6 до 35 кВ. Эти сети построены по замкнутому принципу, так как должны осуществлять электроснабжение потребителей не менее чем с двух сторон, относятся к местным электрическим сетям и могут работать как в замкнутом, так и в разомкнутом режимах (рисунок 1).

Местные электрические сети имеют сравнительно небольшой радиус действия (15-30) км, что в значительной мере определяет режим работы нейтрали. Эти сети имеют изолированную нейтраль, так как емкостной ток замыкания на землю не превышает нормированных значений. Такой режим нейтрали дает при эксплуатации определенные преимущества, обусловленные отсутствием дугогасящих реакторов и возможностью не отключать в течение двух часов сеть при замыкании одной из фаз на землю. За это время можно отыскать и локализовать повреждение изоляции. При этом треугольник междуфазных напряжений остается практически неизменным, а электроснабжение не прерывается. Однако в этих сетях наблюдается сложная электромагнитная обстановка (ЭМО), снижающая надежность и эффективность электроснабжения. Объясняется это нарушением регламентируемых ГОСТ 13109-97 уровней ЭМС технических средств по следующим показателям качества электрической энергии (КЭ):

- установившееся отклонение напряжения δU , %;

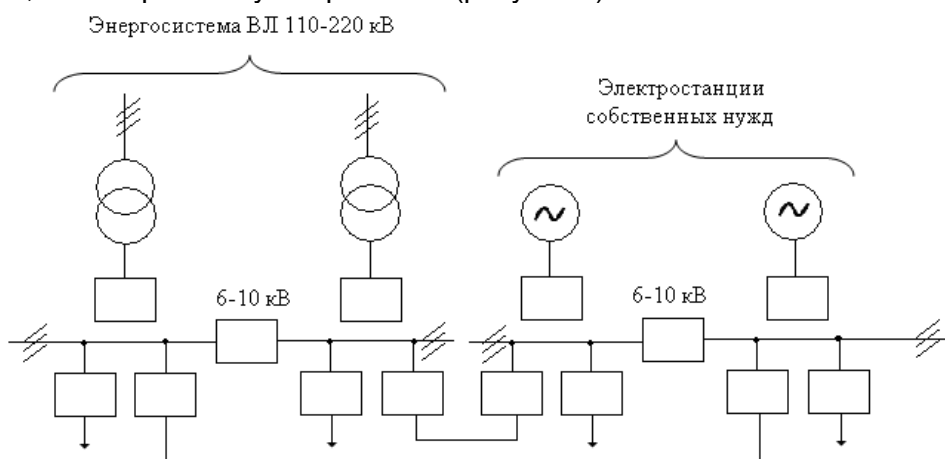


Рисунок 1 – Принципиальная схема питания объекта, удаленного от электроэнергетической системы

– коэффициент искажения синусоидальности кривой междуфазного (фазного) напряжения K_U , %;

– отклонение частоты Δf , Гц.

Эти низкие показатели КЭ вызывают появление кондуктивных электромагнитных помех, распространяющимся по проводам, которые нарушают режим работы [1, 2]:

– технических средств (оборудование, аппаратура, изделия или их составляющие части), функционирование которых основано на законах электротехники, радиотехники и электроники;

– систем релейной защиты и автоматики;

– электроэнергетических систем.

Стандарт [2] как и основной нормативно-технический и методический документ не комментирует показатели КЭ, которые выходят за установленные значения, как параметры ЭМО, но требует подавления кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП).

Апостериорно местные сети, построенные по замкнутому принципу, работают в разомкнутом режиме с не оптимальными местами размыкания [1]. Известная методика решения этой задачи не учитывает появления кондуктивных ЭМП и основана на определении минимума целевой функции приведенных затрат, связанных с эксплуатацией сети и электроснабжением потребителей. Из-за невозможности достоверного определения аргументов этой целевой функции, в частности ущерба от нестандартных показателей КЭ в СЭС, затрат от изменения сложности эксплуатации сети при различных положениях точек разрезов замкнутой сети и затрат, связанных с изменением надежности электроснабжения потребителя при этих точках, решение получается ошибочным. Теория таких электрических сетей не раз-

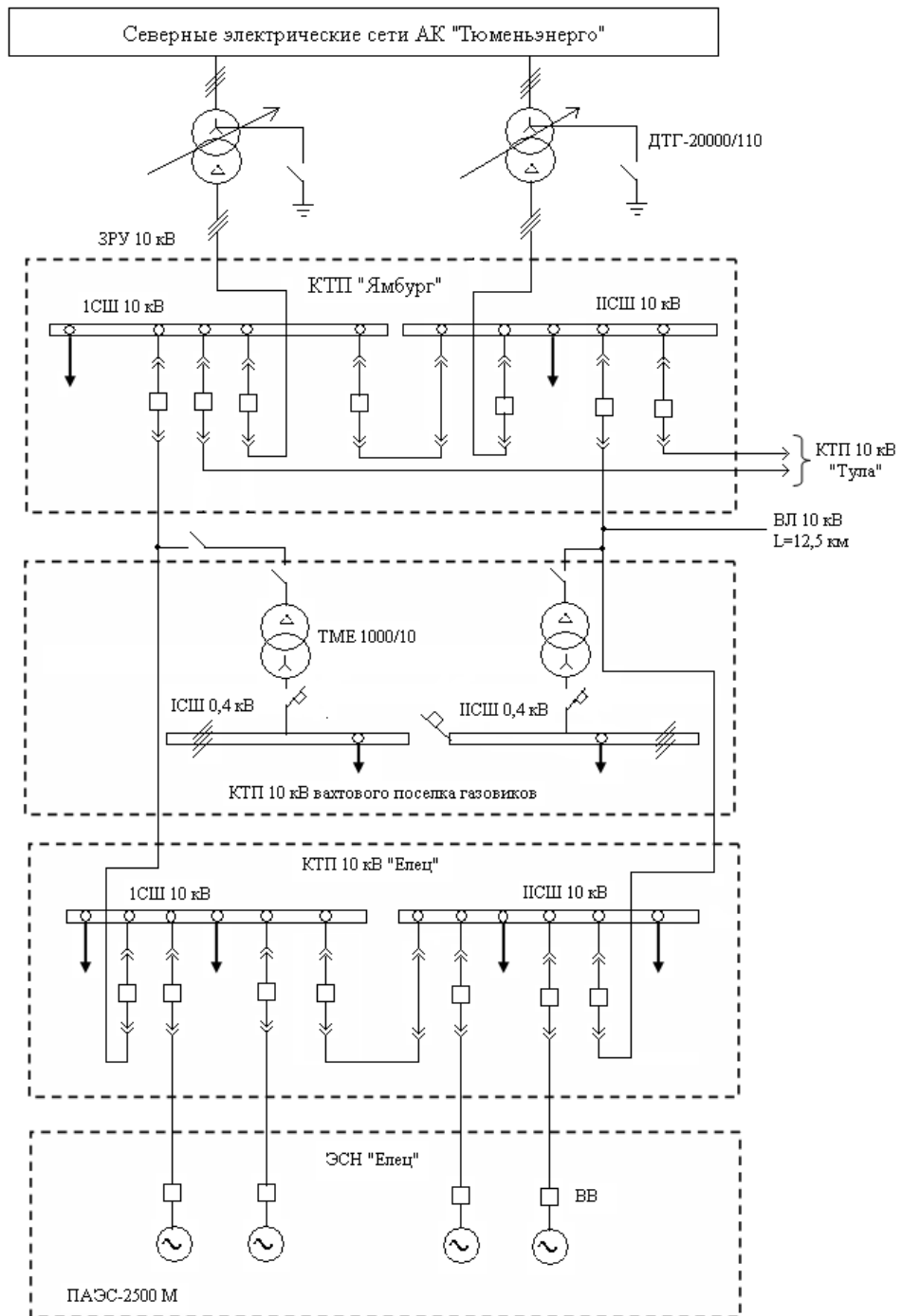


Рисунок 2 – Схема электроснабжения промышленной площадки №1 Ямбургского месторождения газа

– систем релейной защиты и автоматики;

вита. Дело в том, что замкнутая сеть (точка) в промышленных предприятиях распространения не получила и, по-видимому, не имеет перспектив на внедрение, поскольку весь опыт промышленности говорит в пользу раздельной работы линий и трансформаторов, как наиболее надежной, особенно в случае применения в сетях низкого напряжения устройств автоматического ввода резерва (АВР).

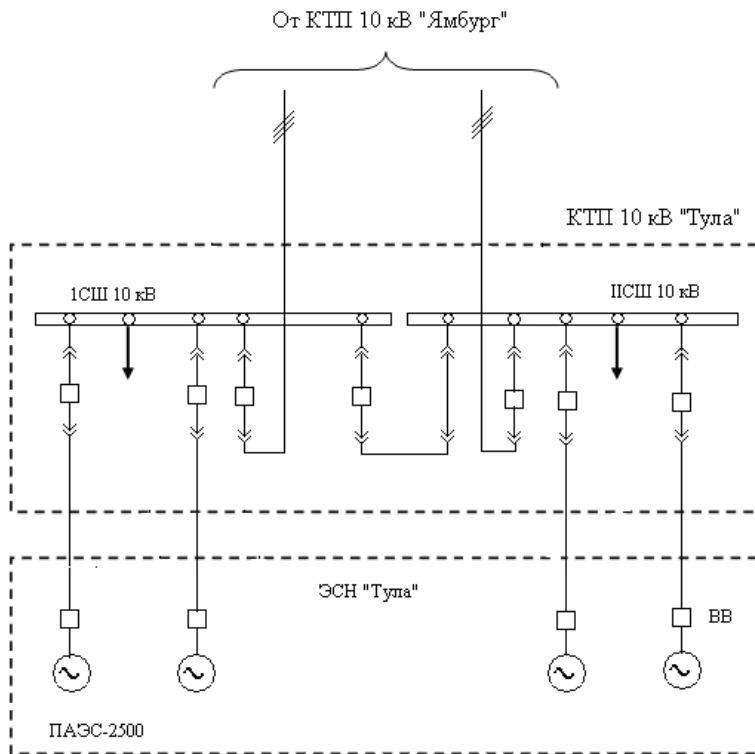


Рисунок 3 – Схема электроснабжения промышленной площадки №2 Ямбургского месторождения газа

Однако в связи с потребностью практики в замкнутых сетях промышленного назначения необходимо продолжить развитие теории этих сетей, поэтому объектом исследования являются замкнутые сети от 6 до 35 кВ, удаленные от электроэнергетических систем объектов. В соответствии с теорией системного анализа для этого необходимо, прежде всего, выбрать базовый полигон исследования.

Классический подход к исследованию основывается на том, что свойство целого (системы) определяется главным образом свойствами составляющих его элементов (подсистем). Системный же подход основывается на другой парадигме. Система не детерминируется однозначно совокупностью элементов и не сводится к ним, а, наоборот, элементы детерминируются целым комплексом,

в рамках которого они и получают свое функциональное назначение; при этом у системы в целом появляются новые свойства, отсутствующие у ее элементов [3]. Системный анализ применительно к ЭМС электрических систем предполагает:

- установление границ исследуемой системы заданного назначения как целого, то есть выделение из окружающей ее среды;
- определения целей системы, критериев качества ее функционирования и методов их расчета;
- декомпозицию системы на составные части (подсистемы), которые на более низком уровне иерархии рассматриваются как подсистемы;
- исследование системы (подсистемы) во всех требуемых целевым назначением аспектах с учетом всех значимых связей как между частями одного уровня, так и между различными уровнями.

В содержательном аспекте [3] получили наибольшее распространение два вида эквивалентирования – декомпозиция и агрегирование. Их главная задача – создание наиболее представительной по объему и характеру описания процессов исходной модели системы (математической, физической).

Под декомпозицией понимается расчленение общей задачи описания сложной системы на подзадачи, их независимое решение и последующая увязка получаемых результатов. Цель агрегирования по существу сводится к сокращению объема задачи путем исключения

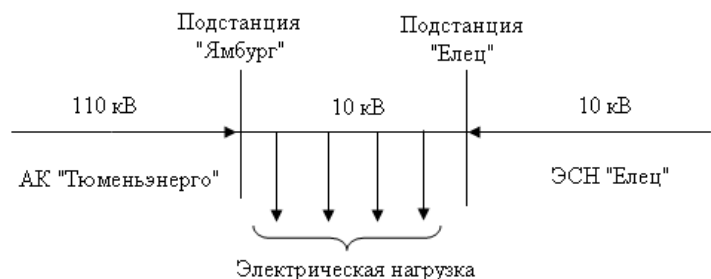


Рисунок 4 – Структурная схема замкнутой сети 10 кВ промышленной площадки №1 Ямбургского месторождения газа

ее рассмотрения несущественной или малосущественной информации (связей системы). Поэтому основной алгоритм агрегированных преобразований заключается в наибольшем сокращении объема составляющих исходной модели; другой возможный алгоритм – замена на более удобные для расчета переменные или элементы; иногда оба эти алгоритма объединяются.

На основании изложенного базовым полигоном исследования выбрана система электроснабжения Ямбургского месторождения газа. На рисунках 2 и 3 представлены схемы электроснабжения промышленных площадок №1 и №2 Ямбургского месторождения газа. Питание от Северных электрических сетей (Федеральные электрические сети России) поступает на напряжение 10 кВ. Электростанции собственных нужд (ЭСН) промышленной площадки № 1 «Елец» и площадки №2 «Тула» расположены вне центров электрических нагрузок этих площадок. В свою очередь каждая эта подстанция состоит из четырех электростанций типов ПАЭС-2500 М и ПАЭС-2500. Мощность каждого генератора составляет 2,5 МВт. В качестве двигателей используются авиационные газотурбинные двигатели. На рисунке 4 приведена структурная схема замкнутой сети на напряжение 10 кВ промышленной площадки №1 Ямбургского месторождения газа.

Анализ схемы электроснабжения, представленной на рисунках 2 и 3, показал, что она в принципе соответствует структуре типовой замкнутой сети (см. рисунок 1). Это подтверждает достоверность выбора полигона исследования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах: учеб. пособие / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2006. -432 с.

2 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Минск: Стандарты, 1998. -31 с.

3 Мелентьев, Л.А. Системные исследования в энергетике. Элементы теории, направления развития: учеб. пособие / Л.А. Мелентьев. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Наука, 1983. - 455 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электрические сети, системный анализ, базовый полигон исследования, электромагнитные помехи, качество электроэнергии*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Долгушин Сергей Борисович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Кислицин Евгений Юрьевич, канд. техн. наук ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор «Инновационный Евразийский университет»
Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Любаков Сергей Владимирович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, Инновационный Евразийский университет
г. Новосибирск, ул. Д. Ковальчук, 191, ГОУ ВПО «СГУПС»*

КОНДУКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПОМЕХА ПО ТОКУ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ ОТ 6 ДО 35 кВ С НЕЙТРАЛЬЮ, ЗАЗЕМЛЕННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР

**ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
«Инновационный Евразийский университет»**

**Е.В. Иванова, В.В. Горелов, И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова,
А.А. Левченко, В.Г. Сальников**

CONDUCTION AN ELECTROMAGNETIC HANDICAP ON A FAULT-TO GROUND CURRENT IN A NETWORK FROM 6 UP TO 35 kV WITH A NEUTRAL THROUGH THE RESISTOR

**«Novosibirsk state academy of water transport»
«Innovative Euroasian university»**

E.V. Ivanova, V.V. Gorelov, I.N. Dmitriev, Yu.M. Ivanova, A.A. Levchenko, V.G. Salnikov

Influence of the resistor in a neutral of a network from 6 up to 35 kV on conduction an electromagnetic handicap on a fault-to-ground current is investigated. The mathematical model is offered.

Исследовано влияние резистора в нейтрали сети от 6 до 35 кВ на кондуктивную электромагнитную помеху по току замыкания на землю. Предложена математическая модель.

При гармоническом воздействии и несимметрии напряжений по обратной последовательности в сети от 6 до 35 кВ ток замыкания фазы на землю значительно возрастает по сравнению с током при качественной электроэнергии. Для прогнозирования этого тока при металлическом замыкании, когда активное сопротивление R_3 в месте замыкания на землю не учитывается ($R_3 = 0$), используется математическая модель [1, 3]

$$I_3 = I_c + kI_c M[K_U], \quad (1)$$

где I_c – ёмкостной ток замыкания на землю при синусоидальном и симметричном напряжении в сети, А;

k – коэффициент, учитывающий нелинейную зависимость тока I_3 от гармонического воздействия при несимметрии напряжений по обратной последовательности, $k = 0,05-0,10$;

$M[K_U]$ – математическое ожидание коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, %.

Относительная ошибка расчётов по этой формуле с вероятностью 0,95 находится в пределах $\pm 10\%$ при $0 < K_{2U} \leq 4\%$, где K_{2U} – коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности.

При превышении I_3 допустимого значения $I_{c,d}$ сверх установленного времени, обусловленных [3], в сети появляется кондуктивная электромагнитная помеха (ЭМП) по току замыкания на землю. Сеть от 6 до 35 кВ рассматривается как рецептор к качеству напряжения. В этом случае эта помеха представляется выражением [3]

$$\delta I_3 = \frac{I_3}{I_{c,d}}. \quad (2)$$

Одним из эффективных способов подавления δI_3 является заземление нейтрали сети через резистор. Однако при этом необходимо выбрать такое сопротивление резистора, чтобы оно обеспечивало допустимое увеличение тока I_3 в момент замыкания и гашения дуги в месте замыкания. В связи с этим в этой статье предлагается решение первой задачи – оценка влияния сопротивления резистора в нейтрали сети от 6 до 35 кВ на кондуктивную ЭМП δI_3 .

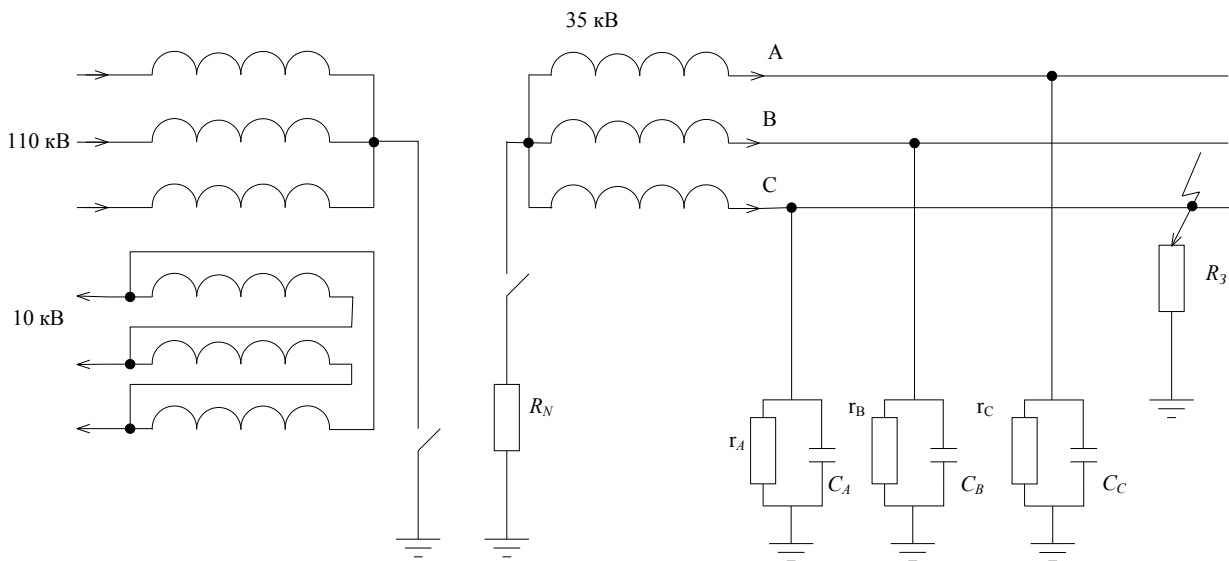


Рисунок 1 – Схема замещения сети напряжением 35 кВ с резистором R_N в её нейтрали

Первоначально исследуем зависимость тока I_3 от величины сопротивления резистора R_N в нейтрали сети с учётом сопротивления R_3 . На рисунке 1 представлена схема замещения сети напряжением 35 кВ с резистором R_N в её нейтрали, где r_A, r_B, r_C – соответственно

активное сопротивление пути утечки тока через изоляцию фаз A, B, C; C_A, C_B, C_C - ёмкость фаз линии относительно земли; R_3 - активное сопротивление в месте замыкания фазы A на землю.

Проводимость Y_{A3} замкнувшейся на землю фазы A составляет

$$Y_{A3} = \frac{1}{R_3} + j\epsilon_A, \quad (3)$$

где ϵ_A – ёмкостная проводимость фазы A.

Напряжение фазы A при замыкании

$$\dot{U}_{A3} = \dot{U}_A - \dot{U}_N, \quad (4)$$

где \dot{U}_A – напряжение фазы A до её замыкания на землю;

\dot{U}_N – напряжение смещения нейтрали.

Напряжения смещения нейтрали определяется по формуле [2]

$$\dot{U}_N = \frac{\dot{U}_A \dot{Y}_{A,3} + \dot{U}_B \dot{Y}_B + \dot{U}_C \dot{Y}_C}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (5)$$

Пусть фазные напряжения источника симметричны и напряжение фазы A направлено по действительной оси. Тогда

$$\dot{U}_A = U; \quad \dot{U}_B = a^2 U; \quad \dot{U}_C = a U,$$

где a – фазный множитель

$$a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}; \quad a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}.$$

С учётом указанных фазных напряжений выражение (5) примет вид

$$\dot{U}_N = U \frac{\dot{Y}_{A,3} + a^2 \dot{Y}_B + a \dot{Y}_C}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (6)$$

Тогда ток замыкания на землю i_3 будет равен

$$i_3 = \dot{U}_{A,3} \dot{Y}_3 = \dot{Y}_3 (\dot{U}_A - \dot{U}_N) = U \dot{Y}_3 \frac{\dot{Y}_B (1 - a^2) + \dot{Y}_C (1 - a) + \dot{Y}_N}{\dot{Y}_{A,3} + \dot{Y}_B + \dot{Y}_C + \dot{Y}_N}. \quad (7)$$

Если положить одинаковыми проводимости всех фаз относительно земли, то есть $\dot{Y}_A = \dot{Y}_B = \dot{Y}_C = \dot{Y}$, то с учётом значения фазного множителя a , выражение (7) преобразуется к виду

$$i_3 = U \dot{Y}_3 \frac{3\dot{Y} + \dot{Y}_N}{3\dot{Y} + \dot{Y}_3 + \dot{Y}_N}. \quad (8)$$

Активные проводимости фаз значительно меньше ёмкостных проводимостей. Если ими пренебречь, то выражение (8) можно преобразовать к виду

$$I_3 = U \left[\frac{(R_N + R_3) + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2}{(R_N + R_3)^2 + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2} + j \frac{3\epsilon R_N (R_N + R_3 - R_N R_3)}{(R_N + R_3)^2 + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2} \right] = I_{3,a} + jI_{3,p}, \quad (9)$$

где $I_{3,a}, jI_{3,p}$ – активная и реактивная составляющие тока замыкания на землю.

Модуль тока замыкания на землю составляет

$$|I_3| = \sqrt{I_{3,a}^2 + I_{3,p}^2}. \quad (10)$$

При математическом замыкании фазы на землю, то есть когда $R_3 = 0$, можно записать

$$|I_3| = U \sqrt{(1/R_N)^2 + (3\epsilon)^2}. \quad (11)$$

Включение резистора проводимостью

$$(R_N)^{-1} = 3\epsilon m, \quad (12)$$

в нейтраль сети приводит к увеличению тока замыкания на землю ($m = 1, 2, 3, \dots$).

В этом случае можно записать

$$|I_3| = 3U\epsilon \sqrt{1 + m^2}. \quad (13)$$

Таким образом, если $m = 1, 0$, то есть $(1/R_N) = 3\epsilon$, то ток замыкания возрастёт в $\sqrt{2}$ раз.

Дальнейшее увеличение коэффициента m , то есть дальнейшее снижение сопротивления резистора R_N , приведёт к увеличению тока замыкания на землю.

Теперь, выражая I_3 через кондуктивную ЭМП δI_3 в соответствии с формулой (2), можем, на основании математической модели (9), записать

$$\delta I_3 = \frac{U}{I_{c,d}} \left[\frac{(R_N + R_3) + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2}{(R_N + R_3)^2 + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2} + j \frac{3\epsilon R_N (R_3 - R_N R_3)}{(R_N + R_3)^2 + (3\epsilon)^2 R_N^2 R_3^2} \right]. \quad (14)$$

Видно, что δI_3 в значительной степени определяется сопротивлениями R_N и R_3 , которые неизвестны. Сопротивление R_N обуславливает горение дуги в месте пробоя, изоляции, поэтому будет рассмотрено отдельно, а сопротивление R_3 определяется классом напряжения сети. Так, для сети 35 кВ при пробое гирлянды изоляторов на железобетонной или металлической опоре можно принять $R_3 = (10-30)$ Ом, то есть это сопротивление равно сопротивлению растекания тока заземлителя опоры. Однако учёт сопротивления в месте замыкания до 30 Ом даёт небольшое снижение тока замыкания на землю.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванова, Е.В. Обеспечение электромагнитной совместимости в системах электропитания общего назначения мощных электротермических нагрузок / Е.В. Иванова // Пром. энергетика. -М., 2004. -№11. -С. 50–54.

2 Короткевич, М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич. -Минск: Техноперспектива, 2003. -373 с.

3 Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора / В.Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 219–223.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ток замыкания на землю, резистор в нейтрали сети, кондуктивная электромагнитная помеха

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванова Елена Васильевна, докт. техн. наук, профессор «Инновационный Евразийский университет»

Горелов Василий Валерьевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванова Юлия Михайловна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

140003, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 45, Инновационный Евразийский университет

РАСЧЁТ РЕЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.М. Асосков, В.В. Горелов, В.П. Горелов, И.Н. Дмитриев, С.Б. Долгушин, А.А. Левченко, К.С. Мочалин

CALCULATION RESISTOR'S DEVICES OF POWER PURPOSE, MADE FROM RESISTIVE COMPOSITE MATERIALS

«Novosibirsk state academy of water transport»

S.M. Asoskov, V.V. Gorelov, V.P. Gorelov, I.N. Dmitriev, S.B. Dolgushin, A.A. Levchenko, K.S. Mochalin

On the basis of the empirical dependences received experimentally, the design procedure resistor's devices from resistive composite materials is resulted.

На основании полуэмпирических зависимостей, полученных экспериментально, приводится методика расчёта резисторных устройств из резистивных композиционных материалов.

В условиях повышенного физического износа электрооборудования генерирующих электростанций с учётом крупных аварий на турбоблоке Ермаковской ГРЭС в 1975 г. и выхода из строя гидрогенераторов Саяно-Шушенской ГЭС в 2009 г., актуальным является применение устройств электрического торможения (УЭТ) генераторов различного типа на основе мощных композиционных резисторов. Однако наличие разнообразных конструкций объёмных композиционных резисторов обуславливает ряд проблем, возникающих при разра-

ботке методов расчётов их параметров. Большое число взаимодействующих факторов, влияющих на параметры резисторов, приводит при их конструировании к задаче, имеющей множество решений. Конструирование ведётся на базе накопленного опыта путём отбора варианта конструкции, удовлетворяющего требуемым параметрам, оптимальным по стоимости и технологии производства.

Принципиальная особенность мощных резисторов, работающих в режиме кратковременного включения $\tau_p \leq 3,0$ с, состоит в том, что всю тепловую нагрузку воспринимает на себя дисперсный проводник композиции, затем передавая её остальным компонентам за счёт теплопроводности. Расчёт резистора состоит в определении резистивного композиционного материала (РКМ), необходимого для рассеяния данного количества энергии (таблица 1). На наш взгляд, наиболее перспективным в настоящее время является электропроводный композиционный материал (ЭКОМ). С определённым запасом необходимый объём определяют по формуле [1-3]

$$V = KN\tau/\Delta t, \quad (1)$$

где Δt – температура перегрева в соответствии с требованиями технических условий;
 N – мощность источника, например, генератора, МВт;
 τ – время включения, с;
 K – коэффициент, изменяющийся в пределах (0,495-0,572) м³·К/(МВт·с).

Таблица 1 – Основные параметры резистивных композиционных материалов российских и зарубежных производителей

Показатель	Бетэл	Тирит, вилит	ЛКС	Morganite	ЭКОМ
Удельная теплоёмкость $C \cdot 10^{-3}$, кДж/(кг·К)	0,90-0,96	0,63-0,75	0,98	0,63-1,25	0,80-0,95
Теплопроводность λ , Вт/(м·К)	0,52-2,90	0,084-4,20	3,80	0,65-4,19	1,50-5,00
Разрушающее напряжение σ , МПа	10-40	40-50	50	50	35-50
Плотность $\gamma \cdot 10^{-3}$, кг/м ³	1,6-2,2	2,0-2,4	2,5	2,0-2,5	2,7-2,8
Допустимая температура кратковременного (до 3 с) перегрева T , К	433	493	523	523	900
Удельное сопротивление $\rho_v \cdot 10^{-4}$, Ом·м	1-5	1-10	5-50	4-25	2-45
Допустимая напряжённость электрического поля: $E_{эфф} \cdot 10^{-4}$, В/м (при частоте 50 Гц)	2-10	8-10	3-10	2,4-20	≤20
$E_{умп} \cdot 10^{-4}$, В/м	4-20	12-80	15-90	4,6-25	10-20
Допустимая плотность тока $j \cdot 10^{-4}$, А/м ² (при частоте 50 Гц)	0,01-102	0,1-102	–	–	0,9-102
$J_{умп} \cdot 10^4$, А/м ²	1-200	10-500	–	–	3-200
Коэффициент нелинейности α	0,65-0,98	0,15-0,35	0,75-0,98	0,80-0,98	0,95-0,99
Коэффициент напряжения K_H , %	5-10	–	10-50	10-60	0,2-5,0
Удельная энергия рассеяния $W \cdot 10^6$, Дж/м ³ (при частоте 50 Гц)	150	150	140	160	≤700
$W_{умп} \cdot 10^6$, Дж/м ³	60	50	50	60	65
Температурный коэффициент сопротивления $\beta \cdot 10^{-4}$, К	-(7-30)	-(20-35)	–	-(10-15)	-(5-10)

При расчёте резистора тепловой режим является решающим, но недостаточным. По заданным параметрам максимального линейного напряжения U_n и мощности источника определяется ток $I = N/U_n$ и сопротивление $R = U/\sqrt{3} \cdot I$. При исполнении отдельных элементов резистора, набираемых из n дисков – «галет» высотой h , их объём рассчитывают по формуле

$$V = SH = \pi D^2 nh/4, \quad (2)$$

где S – площадь элемента, м²;
 H – высота элемента, м;

D – диаметр элемента, м.

Количество элементов для рассеяния заданной энергии определяют

$$n_s = V/V_s. \quad (3)$$

Рассматривают несколько вариантов исполнения резистора путём включения в виде M параллельных колонн по m элементов каждая, с учётом класса напряжения и ограничений по габаритам. При выбранном исполнении резистора удельное сопротивление РКМ в рабочем режиме находят из выражения

$$\rho = RS/H_k = RSM/H_m, \quad (4)$$

где H_k – высота колонны, м.

Из экспериментально установленной зависимости допустимой удельной энергии рассеяния РКМ, например, бетэла $\omega_{доп}$ от длительности включения ($\tau \geq 1$ с) рассчитывают $\omega_{доп} = (80-300) \cdot 10^6$ Дж/м³ при $\tau = 0,01$ [1].

Допустимая плотность тока промышленной частоты

$$j_{доп} = \sqrt{\omega'_{доп} / \rho \cdot \tau}, \text{ А/м}^2, \quad (5)$$

где $\omega'_{доп}$ – допустимая удельная энергия рассеяния для тока промышленной частоты, Дж/м³

$$\omega'_{доп} = (j'_{доп})^2 \rho \cdot \tau; \quad j'_{доп} = K' j_{доп};$$

K' – коэффициент, зависящий от технологических факторов, равный (0,78-0,90).

По найденным значениям уточняют объём и конструкцию резистора. Проверку на допустимую плотность тока проводят по нескольким эмпирическим формулам. При расчётах с определённым энергетическим запасом для всех РКМ, как и для бетэла, применяется формула

$$j = \left(\frac{1,28}{\rho^3} + \frac{5,0}{\rho^2} + \frac{278}{\rho} \right) \cdot 10^4, \text{ А/м}^2. \quad (6)$$

Далее определяют: напряжённость поля в режиме перенапряжения $E = U_H / \sqrt{3} \cdot H$, которая должна быть меньше; с учётом нелинейности РКМ удельное сопротивление в слабом поле при $E \leq 103$ В/м ($\rho_0 = 0,85\rho^{1,14}$), которое необходимо для подбора состава РКМ при изготовлении резистора; снижение величины сопротивления в конце режима работы резистора с учётом температурного коэффициента сопротивления $R' = R(1 - \alpha_t \Delta t)$ [1, 2].

Разработанная программа для расчёта конструкций резисторов на ЭВМ позволила улучшить вариантную проработку конструкций резисторных установок, например, для электрического торможения генераторов Ермаковской ГРЭС. Задача расчёта – отыскание оптимального варианта конструкции резистора из РКМ для электрической станции применительно к реальным ограничениям по габаритам и стоимости. Исходные данные для расчёта [2]

W – мощность генератора, Вт;

w – удельная энергия рассеяния резистора при импульсной нагрузке, Вт/м³;

h – высота галеты, м;

n – число галет в элементе, шт.;

H – высота элемента без контактного устройства, м;

H_1 – высота элемента полная, м;

D – диаметр галеты, м;

U_n – номинальное линейное напряжение, В;

$K_1 = (0,495-0,572)$, м³·К/(МВт·с); $K_2 = (0,78-0,90)$;

τ – время работы резистора, с;

m – число элементов в колонне конструкции;

α_t – температурный коэффициент сопротивления.

По приведённой методике был рассчитан резистор для наружной установки с мощностью рассеяния 700 МДж (таблица 2).

Все расчёты выполнены для резистора, устанавливаемого в одну фазу. Резисторы располагаются на территории ОРУ-20 кВ открыто на изоляторах. В целях экономии территории резисторы komponуются по четыре элемента в колонне. Резистор, устанавливаемый в одну фазу, состоит из 40 колонн. Выключатели и разъединители располагаются в специальном помещении. Приведём технические данные расчёта композиционного резистора внутренней

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

установки для электрического торможения турбогенераторов с мощностью рассеяния 700 МДж (таблица 3).

Таблица 2 – Данные расчёта резисторного устройства наружной установки для электрического торможения турбогенераторов

Показатель	Обозначение, единица измерения	Численное значение
Объём РКМ (ориентировочный)	$V_1, \text{м}^3$	1,48
Объём РКМ (уточнённый)	$V_2, \text{м}^3$	3,00
Объём конструкции	$V_k, \text{м}^3$	36,0
Площадь конструкции	$S_k, \text{м}^2$	24,0
Высота конструкции	$H_k, \text{м}$	1,50
Сопrotивление галеты	$R_1, \text{Ом}$	8,88
Сопrotивление галеты в слабом поле	$R_0, \text{Ом}$	10,8
Сопrotивление элемента	$R_2, \text{Ом}$	53,3
Сопrotивление элемента в слабом поле	$R_6, \text{Ом}$	64,8
Сопrotивление конструкции	$R_4, \text{Ом}$	1,33
Число элементов в фазе	$p_y, \text{шт.}$	160
Стоимость резистора	$C, \text{руб.}$	57920
Ток в конструкции	$I_1, \text{А}$	8670
Сопrotивление колонны	$R_3, \text{Ом}$	106,6
Сопrotивление конструкции при повышенной температуре	$R_5, \text{Ом}$	1,09
Сопrotивление конструкции в слабом поле	$R_7, \text{Ом}$	1,16
Допустимая плотность тока	$j_{\text{доп}}, \text{А/м}^2$	3450
Плотность тока	$j, \text{А/м}^2$	2300
Импульсная плотность тока	$j_{\text{имп}}, \text{А/м}^2$	2100
Удельное сопротивление	$\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	27911
Удельное сопротивление в слабом поле	$\rho_0, \text{Ом}\cdot\text{м}$	33800
Напряжённость поля	$E, \text{В/м}$	9634
Допустимая напряжённость поля	$E_{\text{доп}}, \text{В/м}$	9634

Таблица 3 – Данные расчёта резисторного устройства внутренней установки для электрического торможения турбогенераторов

Показатель	Обозначение, единица измерения	Численное значение
Число элементов в фазе	$p_y, \text{шт.}$	112
Плотность тока	$j, \text{А/м}^2$	2960
Удельное сопротивление	$\rho, \text{Ом}\cdot\text{м}$	3640
Допустимая плотность тока	$j_{\text{доп}}, \text{А/м}^2$	3040
Плотность тока в импульсном режиме	$j_{\text{имп}}, \text{А/м}^2$	2760
Напряжённость поля	$E, \text{В/м}$	3620
Допустимая напряжённость поля	$E_{\text{доп}}, \text{В/м}$	11200
Удельное сопротивление в слабом поле	$\rho_0, \text{Ом}\cdot\text{м}$	3980
Сопrotивление галеты	$R_1, \text{Ом}$	1,165
Сопrotивление элемента	$R_2, \text{Ом}$	9,3
Сопrotивление колонны	$R_3, \text{Ом}$	37,3
Сопrotивление резистора	$R_4, \text{Ом}$	1,33
Сопrotивление резистора при повышении температуры	$R_5, \text{Ом}$	1,09
Сопrotивление элемента в слабом поле	$R_6, \text{Ом}$	10,15
Сопrotивление резистора в слабом поле	$R_7, \text{Ом}$	1,45

Продолжение таблицы 3

Показатель	Обозначение, единица измерения	Численное значение
Сопротивление галеты в слабом поле	R_0 , Ом	1,27
Сила тока через резистор	I , А	8 670
Высота конструкции	H_k , м	3,80
Площадь конструкции	S_k , м ²	3,80
Объём конструкции	C_k , м ³	14,5

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сарин, Л.И. Опыт эксплуатации высоковольтных резисторов типа РЗ в сетях средних классов напряжения / Л.И. Сарин, М.В. Ильиных, А.И. Ширковец // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2006. -№1. -С. 65–68.

2 Горелов, В.П. Композиционные резисторы для энергетического строительства / В.П. Горелов, Г.А. Пугачёв. -Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. -216 с.

3 Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -2-е изд. перераб. и доп. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -424 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *резистивный композиционный материал, резистор, резисторная установка, электрическое торможение, турбогенератор, гидрогенератор*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Асосков Сергей Михайлович, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Горелов Василий Валерьевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Долгушин Сергей Борисович, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДАВЛЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО ТОКУ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ ОТ 6 ДО 35 кВ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**В.В. Горелов, И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова, А.А. Левченко,
К.С. Мочалин, В.Г. Сальников**

EFFICIENCY OFF SUPPRESSION CONDUCTION HASHES ON A FAULT-TO GROUND CURRENT IN A NETWORK FROM 6 UP TO 35 kV

«Novosibirsk state academy of water transport»
V.V. Gorelov, I.N. Dmitriev, J.M. Ivanova, A.A. Levchenko, K.S. Mochalin, V.G. Salnikov

The network from 6 up to 35 kV as a receptor is submitted. Efficiency of grounding of a neutral of this network through the resistor is considered.

Представлена сеть от 6 до 35 кВ как рецептор. Рассмотрена эффективность заземления нейтрали этой сети через резистор.

Технико-экономическое обоснование внедрения проекта по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) сетей от 6 до 35 кВ с изолированной нейтралью как рецепторов обеспечивается экспертизой ЭМС, организационно-техническими мероприятиями и эффективностью этих мероприятий. Экспертиза ЭМС выполняется, как правило, специализированной консалтинговой организацией. Для её осуществления необходимо знать стоимость (цену) работы, несмотря на то, что монопольный характер этих оказываемых услуг на рынке электроэнергетического консалтинга предполагает формулирование цены в виде взвешенного соглашения заказчика и подрядчика. Это даёт возможность осуществления конкурсных процедур и, в конечном счёте, приводит к установлению цены на работу на уровне баланса спроса-предложения (цены рынка).

Однако, для того, чтобы участвовать в тендере топ-менеджеру консалтинговой организации необходимо достоверно знать нижнюю границу стоимости выполняемой по договору

работы. Среди всех известных методов ценообразования в современных условиях наиболее приемлем нормативно-параметрический метод [1]. Он представляет собой систему зависимостей, устанавливающих связь между договорной ценой на работу (услугу), реальными затратами труда непосредственных исполнителей и гарантируемым вознаграждением по полученным результатам.

Первое из уравнений системы зависимостей определяет стоимость (цену) предлагаемой работы

$$Y_1 = \sum b_i x_j, \quad (1)$$

где b_i – организационно-технические факторы, представляемые производственными подразделениями организации;

x_j – факторы, влияющие на затраты труда и вознаграждение непосредственных исполнителей с учётом координации работ исполнителей, ценности необходимых материалов и сложности приборного парка, командировочных расходов, условий работы и проживания, географии расположения энергообъектов.

Второе уравнение системы зависимостей связывает между собой стоимость работы по конкретному договору исполнителями (группы исполнителей) с его заработком

$$Y_2 = (Z + S)T + L + F, \quad (2)$$

где Z – вознаграждение исполнителя (группы исполнителей) в расчёте на один месяц;

S – установленный месячный оклад исполнителя;

L – общепроизводственные расходы по конкретному договору;

F – оплата соискателей, если они привлечены;

T – срок выполнения работы в месяцах.

Третье уравнение системы зависимостей отражает плановые суммарные финансовые поступления по всем договорам организации на конец текущего года за вычетом оплаты договоров с соисполнителями

$$\sum_{год} Y_n = \sum_{год} \Pi_f - \sum_{год} D_k, \quad (3)$$

где $\sum_{год} \Pi_f$ – интегральные плановые годовые, в том числе непредвиденные расходы организации за год;

$\sum_{год} D_k$ – предполагаемые доходы организации от внебюджетных мероприятий за год;

n – планируемое количество завершённых и оплачиваемых работ (услуг) организации на конец текущего года, в том числе переходящих с прошлых лет;

f – перечень предполагаемых расходов организации в плановом году;

k – перечень предполагаемых внебюджетных доходов.

Совместное решение системы приведённых трёх уравнений (1)-(3) позволяет объективно определить годовой минимально приемлемый для организации объём финансирования, необходимый для выполнения работы. В заключение экспертизы должны быть представлены параметры и вероятность появления кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП) по току замыкания на землю в сетях от 6 до 35 кВ с изолированной нейтралью при возможных гармонических воздействиях и несимметрии напряжений по обратной последовательности, приведены сведения о перенапряжениях.

При наличии этих данных необходимо решать вопрос о подавлении этой помехи в сети от 6 до 35 кВ. Наиболее перспективным техническим решением этого вопроса является перевод сети в режим заземлённой нейтрали через резистор с автоматическим резервированием питания [2]. Однако, для оценки эффективности перевода сети в этот режим критерий приведённых или дисконтированных затрат не может быть применён, так как такие показатели, как изменение уровня электробезопасности, срока службы (долговечности) изоляции, необходимо было бы выражать в денежной форме. Решение указанной задачи производится с использованием метода многоцелевой оптимизации [3].

Постановка задачи. Необходимо оценить эффективность перевода сети от 6 до 35 кВ с режима изолированной нейтрали на режим заземлённой через резистор нейтрали при обеспечении:

- минимума капитальных затрат K (цель №1);
- максимального срока службы изоляции t (цель №2);

– максимум электробезопасности в сети B (цель №3).

Наиболее точная, так называемая среднегармоническая структура целевой функции, имеет вид

$$E = \left(\sum_{i=1}^3 \frac{g_i}{e_i} \right)^{-1} \rightarrow \max, \quad (4)$$

где E – критерий оптимальности;

g_i – оценка важности i -ой цели ($i = 1, 2, 3$);

e_i – относительная эффективность i -ой цели.

При этом, необходимо учитывать, что

$$\sum_{i=1}^3 g_i = 1. \quad (5)$$

Значение e_i находится как:

– для минимизируемых целей

$$e_i = \frac{\min K_j}{K_j}, \quad (6)$$

где $\min K_j$ – минимальное значение капитальных затрат из K_j в рассматриваемых вариантах (изолированная и заземлённая нейтраль);

– для максимизируемых целей

$$e_i = \frac{\tau_j}{\max \tau_j}; \quad e_i = \frac{B_j}{\max B_j}, \quad (7)$$

где $\max \tau_j, \max B_j$ – максимальное значение долговечности из τ_j и уровня электробезопасности из B_j в рассматриваемых вариантах (изолированная и заземлённая через резистор нейтрали).

В состав капитальных затрат по обеспечению режима изолированной нейтрали на подстанциях входит: устройство контуров заземления, монтаж комплектов трансформаторов тока в цепях отходящих линий и в цепи ввода на шины от 6 до 35 кВ. Для сети с резистором в нейтрали требуются дополнительные капитальные затраты на: проектирование перевода сети на режим заземлённой нейтрали; приобретение специального заземляющего трансформатора, резистора, трансформаторов тока для нейтрали, направленных реле защиты, блоков питания схем защиты и автоматики; приобретение разъединителей и однофазных выключателей для установки в цепи резистора; монтажи третьего трансформатора тока на каждой из отходящих линий; монтажные работы.

Пусть показатели целей в относительных единицах для сети с изолированной нейтралью равны единице, то есть

$$K_* = \tau_* = B_* = 1,0. \quad (8)$$

Тогда показатели электробезопасности и долговечности для сети с заземлённой через резистор нейтралью, лежат соответственно в пределах $B_{*1} = 5 \div 1,25$; $\tau_{*1} = 2$ – для кабельных сетей и 1,3 для воздушных сетей; $K_{*1} = 1,5 \div 5$ [3].

Значимость (весомости) целей g_i определяются по методу экспертных оценок

$$g_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^3 R_i}, \quad (9)$$

где R_i – расчётный коэффициент для каждой цели,

$$R_i = 1 + \frac{1}{n} - \frac{A}{nN}, \quad (10)$$

n – число целей ($n = 3$);

N – число экспертов, как правило, $N = 10$.

Численные значения значимости целей g_i , определённые по формуле (9), составляют $g_1 = 0,23$; $g_2 = 0,29$; $g_3 = 0,48$. Результаты расчётов значений относительной эффективности целей по формуле (7) и критерия оптимальности по выражению (4) показывают, что капитальные затраты на перевод сети на режим заземлённой через резистор нейтрали не превышают более, чем в 1,5 раза капитальные затраты на создание режима изолированной

нейтрали (при условии повышения долговечности изоляции в два раза – для сетей с кабельными линиями и в 1,3 раза – для сетей с воздушными линиями и уровня электробезопасности в 1,25 раза).

Таким образом, показана эффективность подавления кондуктивной ЭМП по току замыкания на землю в сети от 6 до 35 кВ, обусловленная повышением срока службы сети изоляции и уровня электробезопасности сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Автономов, А.Б. О формировании цен на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы (услуги) / А.Б. Автономов // Энергия. -2006. -№6. -С. 38-40.

2 Электромагнитная обстановка в сети 10 кВ с изолированной нейтралью как рецептора / В.Г. Сальников [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. Специальный выпуск. -С. 219–223.

3 Короткевич, М.А. Основные направления совершенствования эксплуатации электрических сетей / М.А. Короткевич. -Минск: Техноперспектива, 2003. -373 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ток замыкания на землю, резистор в нейтрали сети, кондуктивная электромагнитная помеха

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелов Василий Валерьевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Дмитриев Игорь Николаевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Иванова Юлия Михайловна, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Левченко Александр Анатольевич, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Мочалин Константин Сергеевич, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

А.В. Дед, С.С. Сиромаха

THE ANALYSIS OF INFLUENCE OF ASYMMETRICAL LOADING ON SIZE OF LOSSES OF CAPACITY

«Omsk state technical university»

A.V. Ded, S.S. Siromaha

Influence of asymmetrical loading on electrical supply systems is considered. Additional losses of capacity in systems of an electrical supply arising in elements are disassembled at asymmetry of currents and pressure. Results of an experimental research of indicators of quality of electric energy in system of an electrical supply feeding the consumer with asymmetrical loading are given.

Рассмотрено влияние несимметричной нагрузки на системы электроснабжения. Разобраны дополнительные потери мощности в возникающие в элементах системы электроснабжения при несимметрии токов и напряжений. Предоставлены результаты экспериментального исследования показателей качества электрической энергии в системе электроснабжения питающей потребителя с несимметричной нагрузкой.

ГОСТ 13109-97 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения» устанавливает показатели и нормы качества электроэнергии в электрических сетях систем электроснабжения общего назначения переменного трехфазного и однофазного тока частотой 50 Гц в точках, к которым присоединяются электрические сети, находящиеся в собственности различных потребителей электрической энергии, или приемники электрической энергии (точки общего присоединения) [1].

В электрических сетях Российской Федерации распространен такой режим работы, как несимметричный. Это обусловлено распространением в трехфазных системах электроснабжения потребителей электроэнергии, симметричное многофазное исполнение которых или невозможно, или нецелесообразно по технико-экономическим соображениям. В частности к таким установкам можно отнести индукционные и дуговые электрические печи, электросварочные агрегаты, тяговые нагрузки железных дорог, тяговые подстанции троллейбусов и трамваев, специальные однофазные нагрузки, осветительные установки, а также потребителей коммунально-бытовой сферы, получающим питание по неполнофазным распределительным сетям.

Несимметричные режимы напряжений в системах электроснабжения возникают и при аварийных ситуациях, например при обрыве одной из фаз, обрыве рабочего нуля или не-

симметричных коротких замыканиях.

Несимметрия напряжений характеризуется наличием в трехфазной электрической сети напряжений обратной или нулевой последовательностей, значительно меньших по величине соответствующих составляющих напряжения прямой (основной) последовательности.

Несимметрия трехфазной системы напряжений возникает в результате наложения на систему прямой последовательности напряжений системы обратной последовательности, что приводит к изменениям абсолютных значений фазных и междуфазных напряжений.

Помимо несимметрии, вызываемой напряжением системы обратной последовательности, может возникать несимметрия от наложения на систему прямой последовательности напряжений системы нулевой последовательности. В результате смещения нейтрали трехфазной системы возникает несимметрия фазных напряжений при сохранении симметричной системы междуфазных напряжений [3].

Наиболее часто несимметрия напряжений возникает из-за неравенства нагрузок фаз. Несимметричные токи нагрузки, протекающие по элементам системы электроснабжения, вызывают в них несимметричные падения напряжения. Вследствие этого на выводах электроприемников появляется несимметричная система напряжений.

Отклонения напряжения перегруженной фазы могут превысить допустимые значения, в то время как отклонения напряжения других фаз будут находиться в нормируемых пределах. Кроме ухудшения режима напряжения при несимметричном режиме существенно ухудшаются условия работы как самих потребителей электроэнергии, так и всех элементов сети, снижается надежность работы электрооборудования и системы электроснабжения в целом.

В случае наличия токов обратной и нулевой последовательности увеличиваются суммарные токи в отдельных фазах элементов сети, что приводит к увеличению потерь активной мощности и может быть недопустимо с точки зрения нагрева.

В соответствии с ГОСТ 13109-97 несимметрия напряжений характеризуется следующими показателями [1]:

– коэффициентом несимметрии напряжений по обратной последовательности

$$K_{2U} = \frac{U_{2(1)}}{U_{1(1)}} 100\% ;$$

– коэффициентом несимметрии напряжений по нулевой последовательности

$$K_{0U} = \frac{\sqrt{3}U_{0(1)}}{U_{1(1)}} 100\% ,$$

где $U_{2(1)}, U_{0(1)}$ – действующие значения напряжения основной частоты, соответственно обратной и нулевой последовательности;

$U_{1(1)}$ – действующее значение напряжение основной частоты прямой последовательности.

Для обеспечения нормативных требований, значения коэффициентов K_{2U} и K_{0U} должны составлять 2% в течение 95% суток, и только 5% времени суток эти показатели качества могут достигать максимально допустимые значения – до 4%.

Несимметрия токов и напряжений вызывают дополнительные потери мощности в элементах системы электроснабжения, которые определяются следующим образом [2].

Дополнительные потери мощности в трансформаторах

$$\Delta P_{T.доп} = \left(\frac{U_2}{U_{НОМ}} \right)^2 \Delta P_x + \left(\frac{I_2}{I_{НОМ}} \right)^2 \Delta P_K ,$$

где $U_{НОМ}, I_{НОМ}$ – соответственно номинальное напряжение и ток со стороны высшего напряжения трансформатора;

U_2, I_2 – напряжение и ток обратной последовательности;

$\Delta P_x, \Delta P_K$ – номинальные потери холостого хода и короткого замыкания трансформатора.

С учетом того, что

$$I_{НОМ} = \frac{U_K}{\sqrt{3}z_K} ,$$

ток обратной последовательности

$$I_2 = \frac{U_2}{\sqrt{3}(z_K + z_{H2})},$$

где U_K, z_K – соответственно напряжение и сопротивление короткого замыкания трансформатора;

z_{H2} – сопротивление обратной последовательности присоединенной к трансформатору нагрузки.

После преобразований получаем

$$\frac{I_2}{I_{НОМ}} = \frac{U_2}{U_{НОМ}} \frac{z_K}{z_K + z_{H2}} = \frac{U_2}{U_K} (1 - k_{Т.П.}),$$

где $k_{Т.П.}$ – коэффициент, характеризующий потерю напряжения обратной последовательности в трансформаторе,

$$k_{Т.П.} = U_{2ТНН} / U_{2ТВН};$$

$U_{2ТНН}, U_{2ТВН}$ – напряжения обратной последовательности соответственно на стороне высшего и низшего напряжений, приведенные к стороне высшего.

Дополнительные потери в относительных единицах можно получить из выражения

$$\Delta P_{Т.доп} = \frac{\Delta P_{Т.доп}}{\Delta P_T} = U_2^2 \frac{1 + \left(\frac{1 - k_{Т.П.}}{U_K} \right)^2 \frac{\Delta P_K}{\Delta P_X}}{1 + \beta^2 \frac{\Delta P_K}{\Delta P_X}},$$

где ΔP_T – потери в трансформаторе в симметричном режиме;

β – коэффициент загрузки трансформатора.

В линиях высокого напряжения при неучете токов нулевой последовательности $I_0 = (0,1 \div 0,2) I_2$ дополнительные потери мощности от токов обратной последовательности в относительных единицах равны

$$\Delta P_{ЛЭП.доп} = \frac{\Delta P_{ЛЭП.доп}}{\Delta P_{ЛЭП}} = I_2^2 = K_{2I}^2,$$

где $\Delta P_{ЛЭП}$ – потери в ЛЭП в симметричном режиме;

K_{2I}^2 – коэффициент несимметрии тока по обратной последовательности, который может быть определен путем измерений.

В сетях 0,4 кВ с нулевым проводом необходимо учитывать также дополнительные потери от несимметрии по нулевой последовательности. Формула расчета потерь мощности в радиальной сети с учетом несимметричной нагрузки фаз имеет вид

$$\Delta P_i = k_{ui} I_{эi}^2 r_{эi} k_{Ди},$$

где k_{ui} – коэффициент, учитывающий количество фаз схемы на участке сети;

$I_{эi}$ – эффективный ток участка сети;

$r_{эi}$ – активное сопротивление участка сети;

$k_{Ди}$ – коэффициент, учитывающий дополнительные потери от неравномерности нагрузки фаз

$$k_{Ди} = N^2 \left(1 + 1,5 \frac{r_{НТ}}{r_{\phi}} \right) - 1,5 \frac{r_{НТ}}{r_{\phi}};$$

$r_{НТ}, r_{\phi}$ – соответственно, сопротивления нейтрального и фазного проводов;

N^2 – коэффициент неравномерности,

$$N^2 = 3 \frac{I_A^2 + I_B^2 + I_C^2}{(I_A + I_B + I_C)^2};$$

I_A, I_B, I_C – измеренные токи фаз.

При увеличении коэффициента неравномерности токов фаз потери мощности увеличиваются (рисунок 1) [2].

В результате измерений на соответствие требование ГОСТ 13109-97, проведенных на участке распределительной сети 0,4 кВ, были получены временные диаграммы изменения напряжений, токов, мощностей, а также показатели уровня несимметрии напряжений (рису-

нок 2-5).

В качестве примера исследовался участок сети 0,4 кВ длиной 175 м, отходящий от трансформаторной подстанции 10/0,4 кВ, питающий потребителей с несимметричным (потребитель №1) и симметричным (потребитель №2) характером нагрузки. Измерения проводились с помощью ИВК «Омск-М» (в соответствии с требованием стандарта).

В ходе анализа полученных данных, было выявлено, что характер потребления активной и реактивной мощности является резкопеременным. При протекании несимметричных токов нагрузки в системе электроснабжения узлов и агрегатов потребителя №1, возникают несимметричные падения напряжения. Вследствие этого на выводах установки появляется несимметричная система напряжений, которая приводит к дополнительным потерям мощности и отклонению уровня напряжения, что недопустимо по отношению к качеству электрической энергии, поэтому необходимы меры по снижению несимметрии в электрических сетях.

Снижение несимметрии напряжений может быть достигнуто следующими способами:

- выделением потребителей с несимметричной нагрузкой на отдельные трансформаторы;
- в сетях низкого напряжения перераспределением однофазных нагрузок между фазами;
- применение симметрирующих устройств.

Таким образом, на основании выше изложенного можно сделать следующие выводы:

1 Факторы, искажающие качество электроэнергии, оказывают значительное влияние на потери мощности в элементах сети, питающих и соединяющих источники искажений.

2 Помимо потерь в элементах сети (линия-трансформатор), соединенных последовательно с источником искажений, в сетях энергоснабжающей организации и других потребителей, имеющих с источником искажений общую точку присоединения возникают дополнительные потери.

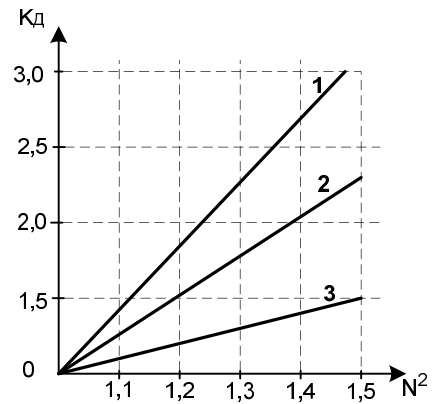


Рисунок 1 – Зависимость коэффициента дополнительных потерь мощности в электрических сетях до 1 кВ от коэффициента неравномерности нагрузки фаз линии: 1)-четырёхпроводная с нейтральным проводом и $r_{HT} = 2r_{\phi}$; 2)-четырёхпроводная с нейтральным проводом и $r_{HT} = r_{\phi}$; 3)-трехпроводная без нейтрального провода

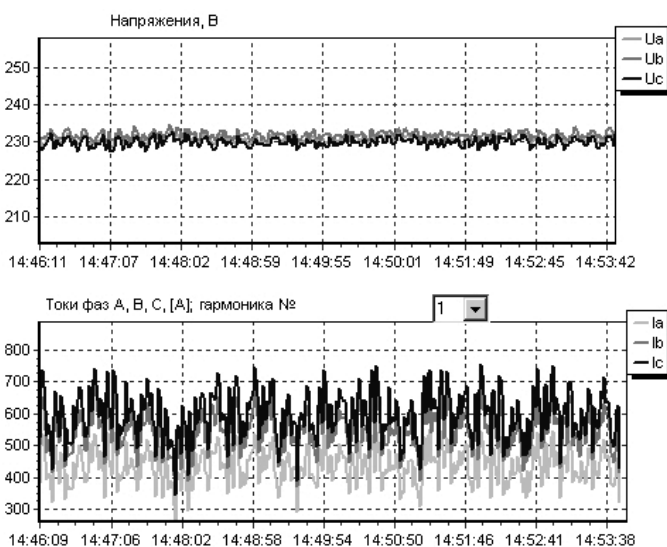


Рисунок 2 – Графики напряжений и токов фаз A,B,C (потребитель с симметричной нагрузкой)

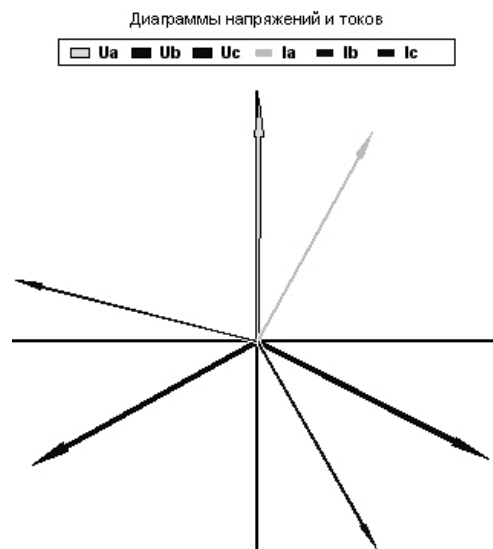


Рисунок 3 – Векторная диаграмма (потребитель с симметричной нагрузкой)

3 Необходимо продолжить работу, направленную на сбор и анализ информации о влиянии несимметричных нагрузок на потери мощности и энергии в элементах питающих их се-

тей. При этом включая в исследования системообразующие сети, если к ним присоединены несимметричные нагрузки, потери в которых могут быть малы в относительных значениях, но большими в абсолютных величинах.

4 Целесообразно и возможно определять рассматриваемые дополнительные потери с целью анализа и оценки фактической ситуации на основе измерений

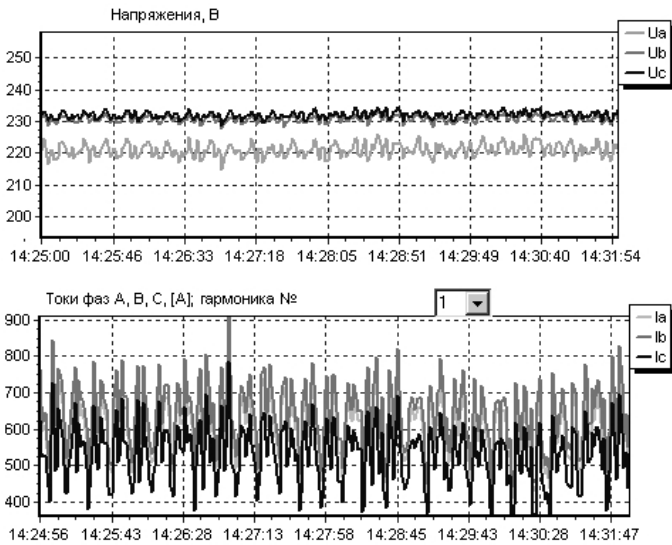


Рисунок 4 – Графики напряжений и токов фаз А,В,С (потребитель с несимметричной нагрузкой)

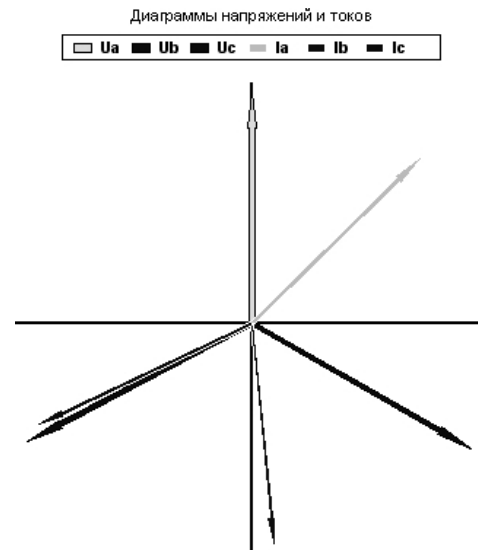


Рисунок 5 – Векторная диаграмма (потребитель с несимметричной нагрузкой)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Изд-во стандартов, 1998. -31 с.

2 Управление качеством электроэнергии / И.И. Карташев [и др.]. -М.: Изд-во МЭИ, 2006. -319 с.

3 Суднова, В.В. Качество электрической энергии / В.В. Суднова. -М.: Энергосервис, 2000. -80 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: режимы энергосистем, несимметричная нагрузка, потери мощности и электроэнергии, качество электроэнергии

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дед Александр Викторович, старший преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГТУ»
Сиромеха Сергей Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

РАСЧЕТ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ОТ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

В.Н. Горюнов, Д.С. Осипов, А.Г. Лютаревич

POWER LOSSES CALCULATION FROM INFLUENCE OF THE HIGHER HARMONICS

«Omsk state technical university»

V.N. Goryunov, D.S. Osipov, A.G. Lyutarevich

The article is devoted to estimation of power losses in elements of power systems from the higher harmonics of current and voltage. In article analysis is made of methods of definition of power losses from the higher harmonics becomes. In the conclusion the algorithm of work of the program, allowing estimating size of losses from the higher harmonics, and its possibilities is resulted.

Выполнена оценка потерь мощности в элементах систем электроснабжения от высших гармоник. Проведен анализ существующих методов определения потерь мощности от высших гармоник. В заключении приводится алгоритм работы программы, позволяющей оценить величину потерь от высших гармоник, и ее возможности

Вопросам влияния высших гармонических составляющих тока и напряжения посвящены работы [1-9]. В результате анализа этих работ можно выделить основные формы воздейст-

вия высших гармоник на элементы систем электроснабжения:

- увеличение токов и напряжений гармоник вследствие резонанса;
- снижение эффективности процессов генерации, передачи и использования электроэнергии вследствие дополнительных потерь;
- ускоренное старение изоляции электрооборудования;
- ложная работа устройств релейной защиты и автоматики;
- помехи в сетях телемеханики;
- дополнительные погрешности при учете электроэнергии и т.д.

Ввиду чрезвычайной важности вопроса снижения потерь электроэнергии, актуальной является задача оценки дополнительных потерь мощности в основных элементах систем электроснабжения от высших гармоник. Зная величину этих потерь, можно определиться со способом их снижения.

Далее рассмотрим существующие методы оценки потерь в элементах электроэнергетических систем от высших гармоник.

Дополнительные потери активной мощности в ЛЭП, вызваны протеканием токов высших гармоник [9]

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3 \sum_{v=2}^n I_v^2 R_1 k_{rv}, \quad (1)$$

где v – номер гармоники;

n – число учитываемых гармоник;

I_v – ток v -ой гармоники;

R_1 – активное сопротивление линии на основной частоте;

k_{rv} – коэффициент, учитывающий влияние поверхностного эффекта, как правило, его принимают равным

$$k_{rv} = 0,47\sqrt{v}.$$

В соответствии с исследованиями, представленными в работе [7], удельное активное сопротивление проводника на частоте v -ой гармоники равно

$$r_{0v} = r_0 (k_{rv} + k_{\delta v}), \quad (2)$$

где r_0 – удельное сопротивление проводника постоянному току (с учетом температуры);

k_{rv} – коэффициент, учитывающий явление поверхностного эффекта для v -ой гармоники, и равный, согласно [7]:

– для меди

$$k_{rv} = 0,021\sqrt{f};$$

– для алюминия

$$k_{rv} = 0,01635\sqrt{f}.$$

Коэффициент $k_{\delta v}$ учитывает эффект близости для v -ой гармоники и определяется [7]

$$k_{\delta v} = \frac{1,18 + k_{rv}}{k_{rv} + 0,27} \left(\frac{d}{a} \right)^2, \quad (3)$$

где d – диаметр жилы проводника, мм;

a – расстояние между центрами жил, мм.

Эффект близости обязательно нужно учитывать для кабельных линий. Для воздушных линий, если $a > 50$, эффект близости предлагается не учитывать [7] и выражение для расчета потерь от высших гармоник в ЛЭП примет вид

$$\Delta P_{\Sigma v} = 3r_0 I \sum_{v=2}^n I_v^2 (k_{rv} + k_{\delta v}). \quad (4)$$

Метод, предложенный в [7], позволяет оценить дополнительные потери в синхронных двигателях от высших гармоник

$$\Delta P_{\Sigma v} = \sum_{v=2}^n \Delta P_{M(v)} + \sum_{v=2}^n \Delta P_{cm(v)} + \sum_{v=2}^n \Delta P_{m(v)}, \quad (5)$$

где $\sum_{v=2}^n \Delta P_{M(v)}$ – дополнительные потери в меди;

$\sum_{v=2}^n \Delta P_{cm(v)}$ – дополнительные потери в стали;

$\sum_{v=2}^n \Delta P_{m(v)}$ – мощность, идущая на преодоление тормозного момента.

Дополнительные потери в меди определяются как [7]

$$\sum_{v=2}^n \Delta P_{m(v)} = I_{\pi}^2 \Delta P_{\kappa} \sum \left(\frac{U_v}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \frac{\sqrt{v} + k' \sqrt{v \pm 1}}{v^2}, \quad (6)$$

где I_{π} – кратность пускового тока при номинальном напряжении основной частоты;

ΔP_{κ} – потери короткого замыкания;

U_v – действующее значение v -ой гармоники;

k' – отношение эквивалентного сопротивления ротора к сопротивлению статора

$$k' = R'_{2\sigma} / R_1;$$

«+» – знак в подкоренном выражении соответствует симметричным составляющим гармоник, вращающимся против вращения поля основной гармоники;

«-» – знак в подкоренном выражении соответствует симметричным составляющим гармоник, создающих поля, вращение которых совпадает с вращением поля основной гармоники.

Дополнительные потери в стали определяются [7]

$$\sum_{v=2}^n \Delta P_{\text{ст}(v)} = \Delta P_{\text{ст.НОМ}} \sum \left(\frac{U_v}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \frac{1}{v^{0,7}}, \quad (7)$$

где $\Delta P_{\text{ст.НОМ}}$ – номинальные потери в стали двигателя при номинальном напряжении $U_{\text{НОМ}}$.

Мощность для преодоления тормозного момента [7]

$$\sum_{v=2}^n \Delta P_{m(v)} = \Delta P_{\text{НОМ}} \sum \left(\frac{U_v}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \frac{M_{\pi}}{M_{\text{НОМ}}} \frac{1}{v^2 \sqrt{v \pm 1}}, \quad (8)$$

где M_{π} , $M_{\text{НОМ}}$ – соответственно пусковой и номинальный моменты синхронного двигателя.

Дополнительные потери для асинхронных двигателей, обусловленные несинусоидальностью определяются из выражения [8, 9]

$$\Delta P_{\Sigma v} = \Delta P_{m1, \text{НОМ}} I_{\pi}^2 \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{\text{НОМ}}} \right)^2 \left(\frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right), \quad (9)$$

где $\Delta P_{m1, \text{НОМ}}$ – потери в меди статора при номинальном токе основной частоты;

«±» – знак плюс под знаком корня соответствует симметричным составляющим гармоник, создающим поля вращения, встречные полю основной гармоники, знак минус – попутные.

Применение формулы (9) для расчета результирующих дополнительных потерь активной мощности в системах электроснабжения с большим количеством АД затруднено [9]. В связи с этим целесообразно получить более простое выражение для таких расчетов. Коэффициент, учитывающий параметры асинхронного двигателя

$$k_{\text{АД}} = \frac{\Delta P_{m1, \text{НОМ}} I_{\pi}^2}{P_{\text{НОМ}}}, \quad (10)$$

где $P_{\text{НОМ}}$ – номинальная активная мощность двигателя.

Зная, что

$$\Delta P_{m1, \text{НОМ}} = m_1 I_1^2 R_1,$$

и ток

$$I_1 = \frac{P_{\text{НОМ}}}{\sqrt{3} \eta \cos \phi U_{\text{НОМ}}}, \quad (11)$$

где m_1 – число фаз;

R_1 – активное сопротивление статорной обмотки, на основной частоте, Ом;

η – КПД двигателя;

$\cos \phi$ – номинальный коэффициент мощности.

Тогда, с учетом (11) выражение (10) примет вид

$$k_{\text{АД}} = \frac{r_1 I_{\pi}^2}{\eta \cos \phi}, \quad (12)$$

где r_1 – активное сопротивление статорной обмотки, на основной частоте, о.е.
 В результате получаем

$$\Delta P_{\Sigma v} = k_{Ад} P_{ном} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \left(\frac{\sqrt{v} + \sqrt{v \pm 1}}{v^2} \right). \quad (13)$$

Дополнительные потери в трансформаторах от протекания токов высших гармоник можно выразить в виде суммы потерь холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) [9].
 Дополнительные потери ХХ можно определить по выражению

$$\Delta P_{x.xv} = \Delta P_{x.x} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2. \quad (14)$$

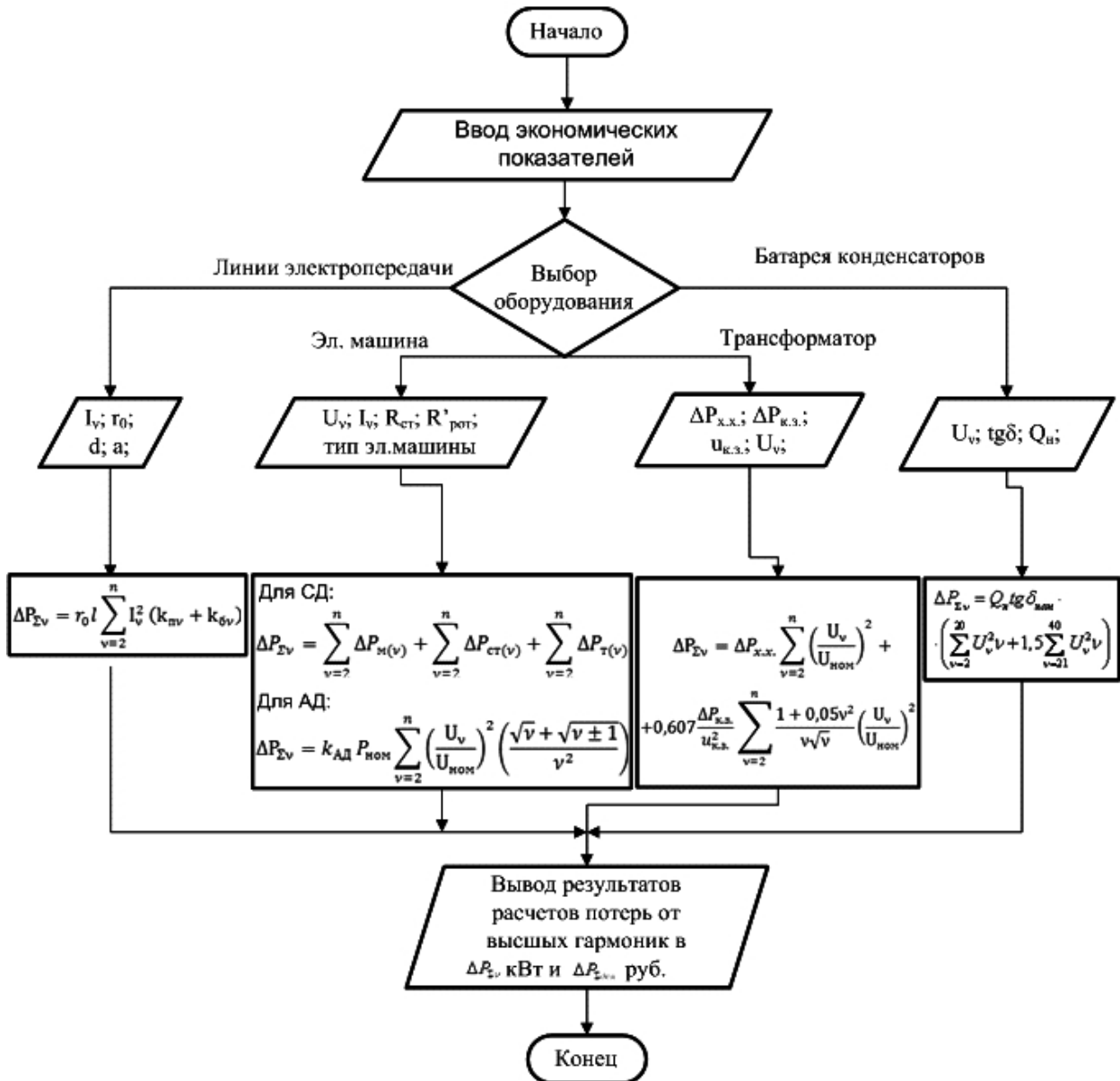


Рисунок 1 – Алгоритм определения потерь мощности в основных элементах систем электроснабжения от высших гармоник

Учитывая, что активное сопротивление КЗ на v -ой гармонике может быть представлено

$$r_{к.зv} \approx 0,47 \sqrt{v} r_{к.з},$$

а отношение $z_{к.зv} / z_{к.з} \approx x_{к.зv} / x_{к.з} \approx 0,88 v$, дополнительные потери КЗ определяются по выражению [8]

$$\Delta P_{к.зv} = 0,607 \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \frac{1}{v \sqrt{v}}, \quad (15)$$

Добавочные потери, обусловленные вихревыми токами, определяются [6]

$$\Delta P_{добv} = v^2 0,05 \Delta P_{к.зv} \quad (16)$$

Таким образом, суммарные дополнительные потери, обусловленные несинусоидальным режимом работы трансформатора, определяются в виде

$$\Delta P_{\Sigma v} = \Delta P_{х.х} \sum_{v=2}^n \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 + 0,607 \frac{\Delta P_{к.з}}{u_{к.з}^2} \sum_{v=2}^n \frac{1 + 0,05v^2}{v\sqrt{v}} \left(\frac{U_v}{U_{ном}} \right)^2 \quad (17)$$

При несинусоидальном напряжении на зажимах батареи конденсаторов в диэлектрике появляются активные потери, обусловленные высшими гармониками, которые находят по формуле [5, 8]

$$\Delta P_{\Sigma диэл} = \omega \sum_{v=2}^n U_v^2 v \operatorname{tg} \delta_v C, \quad (18)$$

где U_v – напряжение v -ой гармоники;

C – электрическая емкость конденсаторной установки;

ω – угловая частота;

$\operatorname{tg} \delta_v$ – тангенс угла потерь диэлектрика на v -й гармоники.

Значение $\operatorname{tg} \delta$ при частоте до 1000 Гц можно принять равным номинальному значению для данного типа диэлектрика. В диапазоне частоты от 1000 до 3000 Гц значение $\operatorname{tg} \delta$ возрастает примерно в 1,5 раза [7]. В результате таких допущений выражение (18) принимает вид

$$\Delta P_{\Sigma диэл} = \omega C_{ном} \operatorname{tg} \delta_{ном} \left(\sum_{v=2}^{20} U_v^2 v + 1,5 \sum_{v=21}^{40} U_v^2 v \right). \quad (19)$$

Проведенный анализ методик расчета дополнительных потерь от влияния высших гармоник и приведенные формулы (4)-(19) легли в основу разработки алгоритма (рисунок 1) и программы для расчета дополнительных потерь в элементах систем электроснабжения от высших гармоник, пример интерфейса которой представлен на рисунке 2. При разработке программы была создана база основных элементов системы электроснабжения, в которой учитывались индивидуальные параметры электрооборудования. Данная программа предназначена как для учебного процесса, так и для оценки и планирования затрат на электроэнергию отделами главного энергетика и энергослужбами промышленных предприятий. Кроме того, задавая значение тарифа на электрическую энергию, можно определить потери от высших гармоник в денежном выражении. Программа написана на языке Object Pascal в среде Delphi.

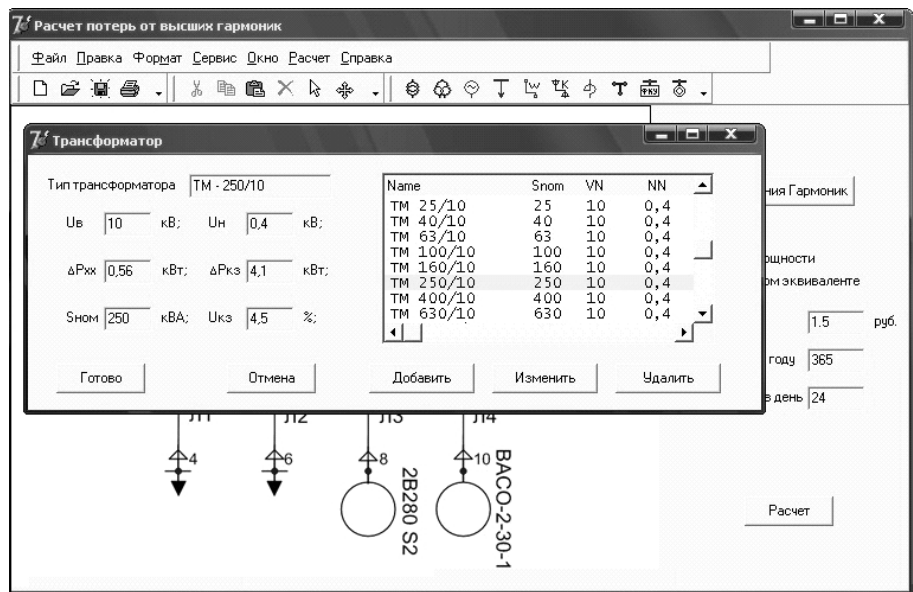


Рисунок 2 – Интерфейс программы: выбор оборудования из базы

учитывались индивидуальные параметры электрооборудования. Данная программа предназначена как для учебного процесса, так и для оценки и планирования затрат на электроэнергию отделами главного энергетика и энергослужбами промышленных предприятий. Кроме того, задавая значение тарифа на электрическую энергию, можно определить потери от высших гармоник в денежном выражении. Программа написана на языке Object Pascal в среде Delphi.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. / Дж. Аррилага, Д. Брэдли, П. Боджер. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -320 с.
 2 Гидалевич, Е.Д. Упрощенный расчет мощности потерь в косинусных конденсаторах при несинусоидальном напряжении / Е.Д. Гидалевич // Пром. энергетика. -1990. -№7. -С. 22-29.

3 Данилевич, Я.Б. Добавочные потери в электрических машинах / Я.Б. Данилевич, Э.Г. Кашарский. -М.: Госэнергоиздат, 1963. -216 с.

4 Жежеленко, И.В. Высшие гармоники в системах электроснабжения промпредприятий / И.В. Жежеленко. -М.: Энергоатомиздат, 2004. -358 с.

5 Кучинский, Г.С. Силовые электрические конденсаторы / Г.С. Кучинский, Н.И. Назаров. -М.: Энергия, 1975. -248 с.

6 Манькин, Э.А. Потери на вихревые токи в обмотках трансформаторов при несинусоидальном токе / Э.А. Манькин // Электричество. -1955. -№12. -С. 48-52.

7 Семичевский, П.И. Методика расчета дополнительных потерь активной мощности и электроэнергии в элементах систем электроснабжения промышленных предприятий, обусловленные высшими гармониками: дис. ... канд. техн. наук / П.И. Семичевский. -М., 1978. - 206 с.

8 Церазов, А.Л. Исследование влияний несимметрии и несинусоидальности напряжения на работу асинхронных двигателей / А.Л. Церазов, Н.И. Якименко. -М.: Госэнергоиздат, 1963. -120 с.

9 Шидловский, А.К. Повышение качества энергии в электрических сетях / А.К. Шидловский, В.Г. Кузнецов. -Киев: Наук. думка, 1985. -268 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *потери мощности от высших гармоник, программа для расчета потерь от высших гармоник*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Горюнов Владимир Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГТУ»
Осипов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»
Лютаревич Александр Геннадьевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»*

КРИЗИС КАК ЕСТЕСТВЕННЫЙ, НО НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ

ОАО «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения

Ф.Л. Бык

CRISIS AS NATURAL, BUT NOT AN OBLIGATORY ELEMENT PROGRESSES IN POWER

«Scientific research institute on transfer of the electric power by a high voltage direct current»

F.L. Byk

Development of electric power industry – the process directed on achievement of compromises of economic interests of subjects of electric power industry. This process is accompanied by crises which it is possible to avoid.

Развитие электроэнергетики – процесс, направленный на достижение компромиссов экономических интересов субъектов электроэнергетики. Этот процесс сопровождается кризисами, которые можно избежать.

Если обратиться к словарям, то в простейшем случае «развитие» определяется как «необратимое направленное закономерное изменение материальных и идеальных объектов». То, что оно необратимое и направленное, интуитивно понятно. Но вот то, что оно закономерное, – сразу озадачивает. Это подразумевает то, что изменение, в силу своей закономерности, протекает независимо от деятельности человека и даже может быть вопреки его желаниям и целям.

Более подробное рассмотрение этого понятия с учетом его представления в биологии, обществе, экономике и других сферах деятельности человека, а главное – с учетом работ по синергетике, позволяет построить концептуальную модель развития. Как вариант такая модель изложена в [1], а на рисунке представлена схема этой модели.

В соответствии с этой моделью, развитие представляет собой процесс самоорганизации и протекает в открытой неравновесной диссипативной системе, которая в то же время является операционально-замкнутой для внешнего воздействия.

Процесс развития является довольно сложным и может быть представлен тремя одновременно протекающими подпроцессами: хаос, упорядочивание, стабилизация.

Хаос предполагает структурное обновление системы, характеризуется расширением конфигурационного пространства системы, обусловленным переходом к новой структуре отношений. Этот процесс по существу меняет систему, повышает ее сложность, расширяет ее возможности. Упорядочивание – установление новых связей, усиление существующих. Ста-

билизация – в основном рост системы, повышение загрузки связей.

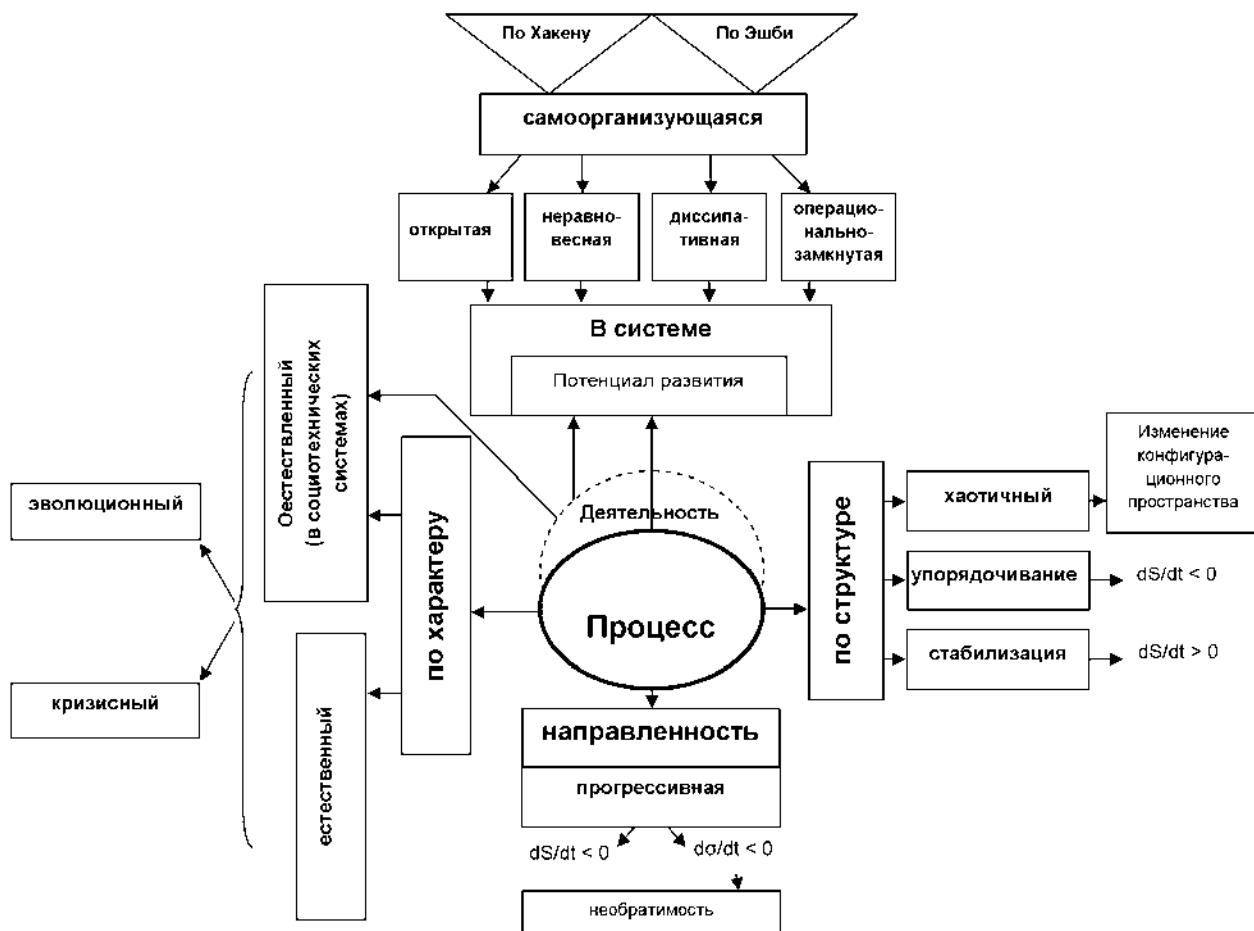


Рисунок – Структура множества понятий концептуальной модели развития

Таким образом, развитие систем состоит в расширении внутренних степеней свобод (результат «хаоса») и формировании в них различных структур и функций (результат «упорядочивания»), обеспечивающих изменение масштаба и роли (результат «стабилизации») систем.

Развитие определяется как внутренним содержанием развивающейся системы, так и внешней средой. Система «пробует», «ищет» варианты новой структуры. В результате этого хаоса могут быть два исхода:

1 Находится структура более совершенная, чем существовавшая. Развитие продолжается переходом к этой структуре.

2 Более совершенной структуры не находится. Развитие заканчивается. Система переходит к менее совершенной структуре или распадается.

Если посмотреть с этих позиций на электроэнергетику, то можно увидеть, что она во многом соответствует условиям развивающейся системы.

Например, процесс стабилизации в электроэнергетике обеспечивает удовлетворение растущего спроса на электроэнергию. Если при этом происходит соответствующее упорядочивание за счет сооружения новых мощностей, линий электропередачи, хозяйственных связей, то протекают оба этих подпроцесса – стабилизация и упорядочивание. В случае невозможности гармонизации этих двух процессов в рамках действующей структуры (изменилась ситуация с энергоресурсами, экологические и технологические ограничения и др.) наступает необходимость структурных изменений (хаоса). Если такая структура подготовлена, то происходит эволюционный переход к новой структуре (без кризиса) – устойчивое развитие. Если такой структуры нет, начинается кризисный процесс.

Представленное понимание развития позволяет глубже понять процессы, протекающие в электроэнергетике, и тенденции ее развития. Рассмотрим их. Выделим в электроэнергетике три проекции:

– собственность как отражение интересов субъектов;

– организованность, создаваемую для защиты и представления этих интересов как «внутри», так и «вовне»;

– технологию, обеспечивающую удовлетворение интересов субъектов.

С целью более наглядного представления предлагаемого подхода будем иллюстрировать его анализом развития электроэнергетики России за последние 20 лет.

Проекция «Собственность». До 1991 г. доминировал процесс стабилизации. Естественно, что в этот период он протекал в интересах государства в рамках роста государственной собственности. С 1991 г. начался процесс «хаоса» в результате приватизации этой собственности и появления различных собственников, акционеров из работников самой электроэнергетики, а также собственников из других сфер экономики, имевших интерес в электроэнергетической отрасли (банки, предприятия и т. п.). Примерно с 1997 г. стал доминировать процесс упорядочивания, когда стали появляться субъекты, заинтересованные в установлении связей в отрасли и с отраслью для осуществления влияния и контроля над ОАО-энерго в своих интересах. Это были различные финансово-промышленные группы, корпорации алюминиевой, нефтяной, угольной, металлургической промышленности и т.п. (покупка контрольных пакетов ОАО «Иркутскэнерго», Красноярской ГЭС, ОГК, энергосбытовых компаний и др.).

В настоящее время начинает превалировать процесс стабилизации, о чем свидетельствует тенденции к росту капитализации, росту инвестиций в электроэнергетику, прежде всего со стороны государства и в малую энергетику.

Проекция «Организованность». Как было отмечено выше, до 1991 г. была стабильность. С 1991 г., начинает доминировать процесс хаоса, характеризующийся появлением многочисленных хозяйствующих субъектов, слабо связанных между собой. А в течение 1993-1995 гг. стал набирать силу процесс упорядочивания, заключавшийся в установлении связей между этими субъектами (в том числе между РАО «ЕЭС России» и региональными ОАО-энерго), появлении ФЭК, РЭК, формировании региональных НТЦ и т.д.

Период с 1998 по 2003 г. можно считать периодом доминирования процесса стабилизации, проявлявшегося в росте эффективности управления, повышении квалификации работников-управленцев.

В этот же период интенсивно протекал и процесс хаоса, но не в реальной действительности, а в виде «мозгового штурма», когда разрабатывались концепции реформирования электроэнергетики, дискутировались на всевозможных форумах и в прессе различные варианты этого реформирования, вплоть до рассмотрения 12 проектов на заседаниях Госсовета РФ с Президентом России.

С 2003 г. (после принятия закона «Об электроэнергетике») по настоящее время превалирует процесс упорядочивания, заключающийся в установлении связей между вновь образовавшимися в результате реформы субъектами электроэнергетического рынка.

Проекция «Технология». С конца 80-х в электроэнергетике шел процесс хаоса. В отрасли не вводилась генерация, нарастал дефицит мощности и электроэнергии, были ограничения потребителей. После 1991 г. изменились внешние условия, начался спад потребности в электроэнергии, что позволило энергетике вступить в процессы упорядочивания и стабилизации. Но около 1995 г. начался новый процесс хаоса, обусловленный неплатежами потребителей за электроэнергию, что привело к перебоям в поставках топлива, проведению ремонтов, спаду в проектировании, потерям квалифицированных кадров и пр.

После 1998 г. начал проявляться процесс упорядочивания, а с 2004 г. наметилась стабилизация. Однако в настоящий момент проявляются симптомы хаоса, что объясняется физическим и моральным износом производственных фондов, отсутствием в достаточном объеме вводов, нарушением технологических и технических регламентов и прочее.

Еще раз следует подчеркнуть, что выделены периоды доминирования указанных подпроцессов. В действительности все три подпроцесса в каждой проекции протекают постоянно.

Используем те же проекции и понятия для построения сценариев дальнейшего развития электроэнергетики в России и выявления основных тенденций.

Начнем с анализа текущей ситуации, влияющей на собственность.

На данный момент государство контролирует около трети всей генерирующей мощности страны (атомные станции и гидроэнергетика), полностью контролирует межсистемные связи (ФСК), владеет системным оператором и таким образом контролирует процесс передачи и рынок электроэнергии. Это позволяет государству защитить интересы населения в

части обеспечения комфортности и безопасности его жизнедеятельности.

Крупные компании (алюминиевой промышленности, газовой и др.) контролируют генерирующие мощности в размерах, достаточных для удовлетворения своих интересов, и их участие в электроэнергетике будет подчинено их нуждам.

Остаются малые и средние предприятия, чьи интересы практически не защищены в структуре собственности и чьи потребности во многом не удовлетворены. Реальность показывает, что на дефицит мощности накладывается еще и дефицит пропускной способности электрических сетей. Стоимость подключения на отдельных территориях достигает 50 тыс. руб./кВт, что соизмеримо с экономической эффективностью строительства новых энергоисточников. В рыночных условиях всегда появятся субъекты, которые будут решать эту проблему, что с большой уверенностью позволяет прогнозировать появление малой электроэнергетики.

Вряд ли стоит ожидать полной либерализации ценообразования в электроэнергетике, поскольку это увеличило бы тарифы кратно. Такого повышения тарифов не выдержит конкурирующая часть экономики страны, следовательно, государство этого не допустит. Следует ожидать регулируемых тарифов, что, очевидно, снизит инвестиционную привлекательность в энергетике, если не предусмотреть соответствующих механизмов и стимулов.

Первые симптомы этого начали проявляться. Практически все собственники ОГК снижают активность, заинтересованность в выполнении своих обязательств по вводу новых мощностей (в соответствии с программой РАО «ЕЭС России»). Результатом является снижение темпов роста ввода новых мощностей.

Это означает, что в проекции «собственность» назревает хаос, точнее в той ее части, которая удовлетворяет спрос на электроэнергию малого и среднего бизнеса. Он может не начаться, если например государство, разработает программу поддержания и роста малого и среднего бизнеса, в том числе в обеспечении его доступной электроэнергией.

В проекции «Организованность» сохранится процесс упорядочивания, связанный с установлением новых связей и усилением существующих там, где это потребуется. Очевидно, что прежде всего это будет проявляться в организации рынка электрической мощности и энергии, при формировании отраслевых норм и стандартов, при координации инвестиционной деятельности для согласования ввода новых генерирующих мощностей и линий электропередачи, чтобы исключить ситуацию, когда будет построена новая электростанция, но не будет соответствующей сети по выдаче ее мощности и т.п.

В проекции «Технология» усилится процесс хаоса, связанный со снижением надежности электроснабжения. Основная цель здесь – избежать кризиса и катаклизмов.

Наиболее прогрессивным и естественным следует ожидать масштабного энергосбережения. Снижение электропотребления снимет остроту проблемы дефицита электроэнергии и позволит произвести модернизацию и реконструкцию в электроэнергетике. В этом случае процесс стабилизации сохранится, что очень важно для устойчивого развития, так как скажется на «организованности» и «собственности».

Процесс анализа хода развития и его путей на перспективу можно продолжить далее. В итоге можно получить некое представление о процессе самоорганизации в электроэнергетике. В целом электроэнергетика является устойчивой инерционной системой со стабильным эволюционным развитием. Процессы хаоса, возникающие в ней, в основном стимулируются внешней средой и не обязательно будут сопровождаться кризисными явлениями. Более того, электроэнергетика в кризисный период является стабилизирующим фактором и для других отраслей.

Основные выводы:

1 В современных рыночных условиях потребность в электричестве всегда будет удовлетворена, возможно с кризисами, в силу самоорганизующегося характера электроэнергетики.

2 Проблема бескризисного, устойчивого развития может обеспечиваться гармонизацией основных фаз развития: хаоса, упорядочивания и стабилизации – в трех сферах электроэнергетики: в собственности, организованности и технологии.

3 Обеспечивая синхронизм в скорости освоения потенциала развития и скорости его наращивания, можно избегать кризисов, а обеспечивая определенный темп этих изменений – конкурентность отрасли на международном рынке, ее инвестиционную привлекательность, финансовую стабильность и прочее, в основном за счет роста инновационной составляющей потенциала развития.

4 В соответствии с предложенным пониманием развития в электроэнергетике следует ожидать:

– роста электроэнергосбережения в металлургии, машиностроении и других секторах экономики страны как результата целенаправленной деятельности государства, как основного собственника электроэнергетики, что позволит снизить нарастание дефицита электроэнергии и дать время для реконструкции, модернизации и ввода новых генерирующих мощностей и линий электропередачи;

– ввода новых государственных атомных и гидростанций, становления малой электроэнергетики за счет освоения современных инновационных технологий производства и распределения электроэнергии;

– формирования рынка электрической мощности и энергии путем регулируемого тарифообразования и стимулирования снижения затрат при производстве и передаче электроэнергии. Следует ожидать отказа от затратного метода при формировании тарифов;

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бык, Ф.Л. Концептуальная модель развития и задачи менеджмента / Ф.Л. Бык, В.Г. Китушин // Менеджмент в России и за рубежом. -2008. -№ 6. -С. 3–9.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электроэнергетика, субъект электроэнергетики, развитие, кризис, компромисс интересов*

СВЕЖЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бык Феликс Леонидович, канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО «НИИПТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *194223, г Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 1, лит А, ОАО «НИИПТ»*

О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗЛИЧНОГО ПОДХОДА К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин

ABOUT NEED OF THE DIFFERENT APPROACH TO CALCULATION OF ELECTROMAGNETIC FORCES IN STATIC AND MOTION IN THE ELECTROMAGNETIC MECHANISM IS OFFERED

«Novosibirsk state technical university»

L.I. Malinin, V.A. Kondratyev, V.L. Malinin

The comparative analysis of processes of transformation of energy is carried out at use for mathematical models of devices complete and private derivative. Is shown, that for definition of electromagnetic forces in the electromagnetic mechanism it is necessary to take into account elastic deformations of elements of electromagnetic system.

Проведен сравнительный анализ процессов энергопреобразования при использовании для математических моделей аппаратов полных и частных производных. Показано, что для определения электромагнитных сил в электромагнитном механизме необходимо учитывать упругие деформации элементов электромагнитной системы.

Вопросу определения электромагнитных сил электромеханических устройств различного назначения посвящено большое количество работ. С выполнением теоретических [2] и экспериментальных [1, 3] исследований применительно к электромагнитным механизмам (ЭММ) с поступательным движением якоря при форсированных режимах их электропитания в настоящее время актуально исследование и разработка рекомендаций к расчету электромагнитных сил в динамике.

Целью данной статьи является теоретическое обоснование необходимости различного подхода к определению электромагнитных сил в статике и динамике электромеханических устройств с поступательным движением якоря исходя из углубленного рассмотрения баланса энергий с учетом физических законов, являющихся основополагающими для электромеханики.

Основные положения определения электромагнитных сил. В математической модели ЭММ обязательно должны быть учтены силы инерции и упругие силы. Это обусловлено тем, что силы служат причиной либо ускорения тела (динамическое действие), либо изменения его формы при упругих деформациях (статическое действие). Эти действия могут быть, как рассчитаны, так и измерены. При отсутствии сил инерции определяется статиче-

ская сила, а при отсутствии упругих сил – динамическая сила. При наличии, как сил инерции, так и упругих сил определяется результирующая сила, которую принято называть движущей силой.

При анализе движения якоря ЭММ используется принцип динамического равновесия сил (принцип Д'Аламбера) с учетом и силы инерции.

Дифференциал работы против силы сопротивления при перемещении на величину dx

$$dA_c = F_c dx . \quad (1)$$

Дифференциал механической работы, затрачиваемой на создание ускорения a подвижных частей массой $m_{п.ч}$

$$dA_{и} = F_{и} dx = m_{п.ч} a dx . \quad (2)$$

Дифференциал механической работы, затрачиваемой на упругую деформацию

$$dA_y = c l_y \frac{dl_y}{dt} \cdot dt = F_y v_y dt , \quad (3)$$

где c – жесткость;

l_y – изменение длины деформируемого тела;

v_y – скорость упругой деформации.

Механическая работа и электромагнитная энергия, затраченная на её выполнение, в общем случае являются функциями перемещения x и времени t . Полный дифференциал механической работы

$$dA = \frac{\partial A}{\partial t} dt + \frac{\partial A}{\partial x} dx , \quad (4)$$

только гипотетически может быть равным полному дифференциалу электромагнитной энергии ЭММ

$$dW_{эм} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t} dt + \frac{\partial W_{эм}}{\partial x} dx , \quad (5)$$

что означает полное потребление механическим процессом как временного, так и пространственного компонента $dW_{эм}$.

В технических системах всегда присутствует обменная электромагнитная энергия $W'_{эм}$, запасаемая в поле устройства. Эта энергия равна разности электромагнитной энергии и механической работы. Механическая работа обычно не характеризуется полным дифференциалом, в то время как электромагнитная энергия характеризуется полным дифференциалом (5). Это и приводит к появлению обменной энергии. Понятию полного дифференциала электромагнитной энергии соответствует баланс электромагнитной мощности в виде

$$\frac{dW_{эм}}{dt} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t} + \frac{\partial W_{эм}}{\partial x} \frac{dx}{dt} .$$

Первое слагаемое определяет скорость изменения электромагнитной энергии при фиксированной координате x , обусловленную нестационарностью электромагнитного поля, то есть локальную мощность электромагнитной энергии. Интегрирование локальной мощности по времени позволяет определить обменную энергию за интересующий интервал времени.

Второе слагаемое определяет скорость изменения электромагнитной энергии, получаемую только за счет изменения координаты x траектории движения якоря, то есть переносную скорость электромагнитной энергии. При пренебрежении механическими потерями в ЭММ переносная мощность отождествляется с механической мощностью

$$p_{эм.д} = p_{мех} = F_{эм.д} v = F_{мех} v ,$$

то есть $(\partial W_{эм} / \partial x) v = F_{эм.д} v$, что позволяет определить электромагнитную силу движения

$$F_{эм.д} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial x} .$$

При таком подходе механическая сила содержит как силы, вызывающие макроперемещения якоря и рабочего органа, так и силы, вызывающие микроперемещения (упругие силы) в ЭММ. В случае нестационарных электромагнитных полей электромеханических устройств как макроперемещения, так и микроперемещения носят динамический характер. В случае стационарности поля (постоянство тока в обмотке) при неподвижном состоянии якоря микроперемещения являются постоянными. Именно поэтому в физике упругие силы отнесены к разряду статических сил. Следуя традиционному разделению сил по их динамическому и

статическому действию, принимается, что работа, затраченная на упругую деформацию, совершается за счет части обменной энергии устройства.

Сопоставляя (4) поочередно с (1)-(3) и учитывая, что каждая часть работы выполняется за счет соответствующей части электромагнитной энергии, устанавливаем:

а) $F_c = \frac{\partial A_c}{\partial x} = \frac{\partial W_{эм.с}}{\partial x}$ и часть полного дифференциала электромагнитной энергии, равная

$\frac{\partial W_{эм.с}}{\partial t} dt$, не востребуется процессом механического движения;

б) $F_{и} = \frac{\partial A_{и}}{\partial x} = \frac{\partial W_{эм.и}}{\partial x}$ и часть полного дифференциала электромагнитной энергии, равная

$\frac{\partial W_{эм.и}}{\partial t} dt$, не востребуется процессом механического движения;

в) $F_y = \frac{1}{v_y} \cdot \frac{\partial A_y}{\partial t} = \frac{1}{v_y} \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t}$ и часть полного дифференциала электромагнитной энергии,

равная $\frac{\partial W_{эм.у}}{\partial x} dx$, не востребуется процессом упругой деформации.

В соответствии с принципом динамического равновесия сил электромагнитная сила движения равна

$$F_{эм.д} = F_c + F_{и} = \frac{\partial (W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial x}. \quad (6)$$

В соответствии с третьим законом Ньютона сила, вызывающая упругую деформацию в неподвижно закрепленном элементе устройства (магнитопроводе электромагнитной системы ЭММ), также является электромагнитной силой движения, то есть

$$F_{эм.д} = F_y = \frac{1}{v_y} \cdot \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t}. \quad (7)$$

Результирующая механическая работа, определяемая дифференциалом

$$dA_{мех} = F_{эм.д} (dx + v_y dt) = \frac{\partial (W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial x} dx + \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t} dt, \quad (8)$$

позволяет определить электромагнитную силу. Невостребованная часть электромагнитной энергии, определяемая дифференциалом

$$dW'_{эм} = \frac{\partial (W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial t} dt + \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial x} dx, \quad (9)$$

запасается в электромагнитном поле устройства и приобретает характер обменной энергии.

Таким образом, баланс элементарных энергий приобретает вид

$$dW_{эм} = dA_{мех} + dW'_{эм}, \quad (10)$$

и в соответствии с (8) и (9) дифференциал электромагнитной энергии устройства является полным дифференциалом.

В частном (возможном только при работе ЭММ в составе системы автоматического управления) случае при постоянной скорости движения v (перемещение $x = vt$) из выражений (8) и (9) следует

$$dA_{мех} = dW'_{эм} = \frac{\partial (W_{эм.с} + W_{эм.и} + W_{эм.у})}{\partial t} dt = F_{эм.с} \left(1 + \frac{dl_y}{dx} \right) dx. \quad (11)$$

В соответствие с (10) половина электромагнитной энергии затрачивается на совершение механической работы, а вторая половина запасается в электромагнитном поле устройства. Это положение общепризнано в электромеханике в качестве основополагающего принципа [4] и без надлежащего обоснования распространено на все режимы работы электромеханических устройств. Очевидно, что область применимости данного принципа – установившиеся режимы при постоянстве скорости и статическое состояние устройства.

Действительно, при неподвижном якоре и рабочем органе ЭММ не совершается работа против силы сопротивления и затрачиваемая на ускорение. В этом случае

$$dA_{мех} = F_{эм.с} v_y dt = \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t} dt; \quad (12)$$

$$dW'_{эм} = \frac{\partial W_{эм,y}}{\partial x} dx = \frac{\partial W_{эм,y}}{v dt} v dt = \frac{\partial W_{эм,y}}{\partial t} dt . \quad (13)$$

Полученные результаты объясняются и с физической точки зрения. В электромеханических устройствах протекают пространственно-временные процессы. В установившемся режиме работы полный дифференциал электромагнитной энергии должен оставаться постоянным, следовательно, увеличение пространственного компонента должно сопровождаться таким же уменьшением временного компонента и адекватным увеличением обменной энергии в электромагнитном поле.

Следует отметить, что баланс (10) по своей сути является электромеханическим, поэтому такое наименование будет использоваться в последующем изложении.

В электромеханическом устройстве электромеханический баланс должен согласовываться с электрическим балансом.

Так как (10) в соответствии с (8) и (9) носит характер пространственно-временного выражения, электрический баланс должен быть записан также в пространственно-временной форме. Электрический баланс записывается на основании уравнений, составленных по законам Кирхгофа. Для записи его в пространственно-временной форме должны быть установлены функциональные зависимости электрических переменных (напряжений, токов, потокосцеплений). Функциональные зависимости электрических переменных определяются видами источников питания (источник ЭДС или источник тока), законом полного тока для магнитной цепи (или в общем случае законами Кирхгофа для магнитной цепи) и законами Кирхгофа для электрической цепи. В самом общем случае можно полагать, что все электрические переменные являются функцией времени и перемещения [2]. Например, для ЭММ с одной обмоткой уравнение Кирхгофа для мгновенных значений тока i , как функции $i[t, x(t)]$, и потокосцепления ψ , как функции $\psi[t, x(t)]$

$$e_{и.п} = i R_{ц.п} + \frac{d\psi}{dt} . \quad (14)$$

При этом электрический баланс имеет вид

$$e_{и.п} idt - i^2 R_{ц.п} dt = i d\psi , \quad (15)$$

что соответствует форме

$$dW_{и.п} - dW_T = dW_{эм} , \quad (16)$$

где $e_{и.п}$ – ЭДС источника питания;

$R_{ц.п}$ – сопротивление цепи питания;

$dW_{и.п}$, dW_T , $dW_{эм}$ – соответственно, дифференциалы электрической энергии источника питания, энергии тепловых потерь и электромагнитной энергии.

Пространственно-временная форма электромагнитной энергии имеет вид

$$dW_{эм} = id\psi = i \frac{d\psi}{\partial t} dt + i \frac{\partial \psi}{\partial x} dx . \quad (17)$$

Результат электрического баланса (17) сопоставляется с электромеханическим балансом (10), с учетом (8) и (9) решается вопрос определения электромагнитной силы, как это поясняется ниже.

На рисунке представлена конструкционная модель ЭММ.

Определяем статическую электромагнитную силу $F_{эм.с}$, приложенную к неподвижному якорю. В этом случае в соответствии с (12) и (13) электромеханический баланс элементарных энергий приобретает вид

$$dW_{эм} = dA_{мех} + dW'_{эм} = 2F_{эм.с} v_y dt = 2F_{эм.с} dl ,$$

а результатом электрического баланса является выражение (17) и, следовательно,

$$id\psi = 2F_{эм.с} dl ; F_{эм.с} = id\psi / (2dl_y) .$$

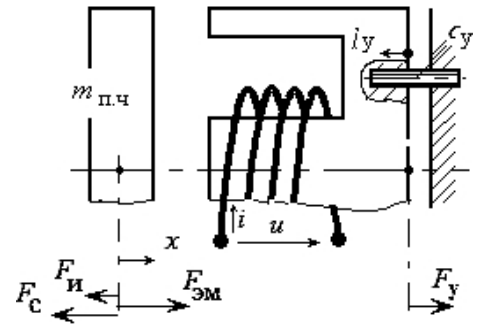


Рисунок – Конструкционная модель ЭММ ($F_{и}$ -сила инерции; $F_{с}$ -сила сопротивления движению; F_y -упругая сила в креплении ярма магнитопровода; $F_{эм}$ -электромагнитная сила, x - возможное перемещение якоря, l_y -изменение длины упора под действием электромагнитной силы; влияние вихревых токов не учитывается)

Электромагнитная сила может также определяться изменением $W'_{эм}$

$$F_{эм.с} = \frac{dW'_{эм}}{dl_y}$$

При неподвижном якоре в случае пренебрежения упругой деформацией и с привлечением понятия виртуального перемещения z имеем

$$F_{эм.с} = \frac{i}{2} \frac{d\psi}{dz}$$

При движении с переменной скоростью, в соответствии с (8) и (9), пренебрегая упругой деформацией, имеем:

$$dA_{мех} = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial x} dx = F_{эм} \cdot dx;$$

$$dW'_{эм} = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial t} dt,$$

и сопоставляя (10) с (17) получим

$$i \frac{\partial \psi}{\partial t} dt + i \frac{\partial \psi}{\partial x} dx = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial t} dt + \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial x} dx.$$

Из последнего выражения имеем

$$i \frac{\partial \psi}{\partial x} dx = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и})}{\partial x} dx = F_{эм} dx; \quad F_{эм} = i \frac{\partial \psi}{\partial x}.$$

При учете упругой деформации задача определения электромагнитной силы решается методом последовательных приближений, что объясняется следующими положениями.

В общем случае выражения (8) и (9) можно представить в форме:

$$dA_{мех} = F_{эм} (dx + dl) = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и} + W_{эм.у})}{\partial x} dx + \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t} dt - \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial x} dx;$$

$$dW'_{эм} = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и} + W_{эм.у})}{\partial t} dt + \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial x} dx - \frac{\partial W_{эм.у}}{\partial t} dt.$$

При подстановке представленных выражений в (10) баланс элементарных энергий приобретает форму тождества

$$dW_{эм} = \frac{dW_{эм}}{\partial t} dt + \frac{dW_{эм}}{\partial x} dx = \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и} + W_{эм.у})}{\partial t} dt + \frac{\partial(W_{эм.с} + W_{эм.и} + W_{эм.у})}{\partial x} dx,$$

и величина $F_{эм}$ в аналитической форме не определяется.

Выводы:

1 В электромеханической системе дифференциал обменной электромагнитной энергии дополняет дифференциал механической работы до значения полного дифференциала электромагнитной энергии.

2 Принцип равенства дифференциалов механической работы и обменной электромагнитной энергии справедлив только для неподвижного состояния электромеханической системы и движения якоря с постоянной скоростью.

3 Учет упругих сил принципиально изменяет энергетический баланс в электромеханической системе и является необходимым условием корректного её энергетического анализа.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кондратьев, В.А. Исследование электромагнитных сил в динамике электромагнитного механизма / В.А. Кондратьев // Мехатроника, автоматизация, управление: теоретич. и приклад. науч.-техн. журн. -2009. -№1(94). -С. 31-35.

2 Энергетические соотношения и электромагнитные силы в медленно движущихся средах / Л.И. Малинин, В.И. Малинин, В.Д. Макельский, В.А. Тюков // Электричество. -2001. -№11. -С. 62-65.

3 Малинин, Л.И. Статическое и динамическое равновесие электромагнитного механизма / Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин // Трансп.: наука, техника, управление: науч. информ. сб. / РАН ВИНТИ. -2009. -№6. -С. 38-40.

4 Уайт, Д.С. Электромеханическое преобразование энергии / Д.С. Уайт, Г.Х. Вудсон;

пер. с англ. Н.Ф. Ильинского, Л.А. Садовского, В.К. Цаценкина; под ред. С.В. Страхова. -М.; Л.: Энергия, 1964. -528 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная энергия, механическая энергия, обменная энергия, электромагнитная сила

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Малинин Леонид Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Кондратьев Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Малинин Вячеслав Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»
630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

АНАЛИЗ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ

ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»
ОАО «РН-Юганскнефтегаз»

**В.В. Барсков, В.А. Бурчевский, Л.В. Владимиров, В.И. Суриков,
А.В. Щекочихин**

ANALYSIS OF EXPRESSION FOR DETECTION SPECIFIC CAPACITIVE CONDUCTIVITY OF TRANSMISSION LINE

«Omsk state technical university»

«RN-Yuganskneftegas»

V.V. Barskov, V.A. Burchevsky, L.V. Vladimirov, V.I. Surikov, A.V. Schekochihin

This article is considered formula for detection specific capacitive conductivity employed in practical calculation for detection charging powers (currents) of transmission lines. Gives conditions, when this formula is applicable. For formulating these conditions is considered in detail derivation of this formula.

Проанализирована широко применяемая в практических расчетах для определения зарядных мощностей (токов) линий электропередач формула удельной емкостной проводимости. Приведены условия, когда применима эта формула. Для формулировки этих условий подробно рассмотрен вывод этой формулы.

Для определения зарядных мощностей (токов) линий электропередач в установившемся режиме широко используется формула удельной емкостной проводимости вида

$$b_0 = \frac{7,58 \cdot 10^{-6}}{\lg\left(\frac{D_{cp}}{R}\right)}, \quad (1)$$

где R – радиус провода, мм;

D_{cp} – среднегеометрическое расстояние между фазными проводами ЛЭП, мм.

При этом не оговариваются или не принимаются во внимание условия, при которых допустимо применение этого выражения. Для того чтобы, определить эти условия рассмотрим подробно вывод этой формулы.

Для электростатического поля системы заряженных цилиндрических или сферических тел, расположенных вблизи проводящей плоскости можно записать систему уравнений (первую группу формул Максвелла), которая связывает заряды тел (τ) с потенциалом (φ) [1]:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \tau_1 \cdot \alpha_{11} + \tau_2 \cdot \alpha_{12} + \tau_3 \cdot \alpha_{13} + \dots + \tau_n \cdot \alpha_{1n}; \\ \varphi_2 = \tau_1 \cdot \alpha_{21} + \tau_2 \cdot \alpha_{22} + \tau_3 \cdot \alpha_{23} + \dots + \tau_n \cdot \alpha_{2n}; \\ \varphi_3 = \tau_1 \cdot \alpha_{31} + \tau_2 \cdot \alpha_{32} + \tau_3 \cdot \alpha_{33} + \dots + \tau_n \cdot \alpha_{3n}; \\ \dots \\ \varphi_n = \tau_1 \cdot \alpha_{n1} + \tau_2 \cdot \alpha_{n2} + \tau_3 \cdot \alpha_{n3} + \dots + \tau_n \cdot \alpha_{nn}, \end{cases} \quad (2)$$

где α_{nn} – собственный потенциальный коэффициент,

$$\alpha_{nn} = \frac{1}{2\pi\epsilon_a} \cdot \ln \frac{2h_n}{r_n};$$

α_{nk} – взаимный потенциальный коэффициент,

$$\alpha_{nk} = \frac{1}{2\pi\epsilon_a} \cdot \ln \frac{b_{nk}}{a_{nk}};$$

h_n – расстояние между центром тела N и его зеркальным изображением относительно проводящей плоскости;

- r_n – радиус тела N ;
- b_{nk} – расстояние от центра тела N до зеркального изображения центра тела K ;
- a_{nk} – расстояние между центрами тел N и K ;
- ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды.

Записанная система уравнений (2) строго справедлива для электростатического поля, но может быть использована и в случае переменного электрического поля, так как в каждый момент времени при определенном условии переменное поле можно рассматривать как статическое. Для этого необходимо и достаточно, чтобы фаза колебаний напряженности поля в пределах линейных размеров тел оставалась неизменной. Иначе говоря, необходимо и достаточно, чтобы линейные размеры тел были несущественными в сравнении с длиной электромагнитной волны.

Для промышленной частоты длина электромагнитной волны составляет 6000 км, что много больше длины линий электропередач распределительных сетей напряжением 6-35 кВ, а так же большинства передач более высокого напряжения.

Рассматривая уравнения (2) для случая переменного электрического поля под зарядом и потенциалом следует понимать мгновенные значения величин. При этом под потенциалом ϕ следует понимать потенциал между фазным проводом и проводящей плоскостью (землей), то есть фазное напряжение. Так как значения величин изменяются по гармоническому закону, уравнения (2) можно записать в символической форме для комплексных действующих зарядов \dot{t} и фазных напряжений $\dot{\phi}$. Для одноцепной ЛЭП система уравнений будет иметь следующий вид

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1 = \dot{t}_1 \cdot \alpha_{11} + \dot{t}_2 \cdot \alpha_{12} + \dot{t}_3 \cdot \alpha_{13}; \\ \dot{\phi}_2 = \dot{t}_1 \cdot \alpha_{21} + \dot{t}_2 \cdot \alpha_{22} + \dot{t}_3 \cdot \alpha_{23}; \\ \dot{\phi}_3 = \dot{t}_1 \cdot \alpha_{31} + \dot{t}_2 \cdot \alpha_{32} + \dot{t}_3 \cdot \alpha_{33}. \end{cases} \quad (3)$$

Будем считать, что напряжения фаз образуют симметричную систему, то есть будем учитывать транспозицию проводов. При этом условии заменим текущие значения потенциальных коэффициентов α_{nn} и α_{nk} на их средние по длине ЛЭП значения:

$$\alpha_{nncp} = \frac{\alpha_{11} + \alpha_{22} + \alpha_{33}}{3}; \quad \alpha_{nkcp} = \frac{\alpha_{12} + \alpha_{23} + \alpha_{13}}{3}.$$

В этом случае получим симметричную электропередачу при симметричной системе напряжений. В такой электропередаче $\dot{t}_1, \dot{t}_2, \dot{t}_3$ так же образуют симметричную систему, то есть:

$$\dot{t}_2 = a^2 \cdot \dot{t}_1; \quad \dot{t}_3 = a \cdot \dot{t}_1,$$

где a – комплексный множитель.

Имея в виду, что $a = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$; $a^2 = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$, уравнения симметричной электропередачи примут вид

$$\begin{cases} \dot{\phi}_1 = \dot{t}_1 \cdot \alpha_{nncp} + \dot{t}_2 \cdot \alpha_{nkcp} + \dot{t}_3 \cdot \alpha_{nkcp} = \dot{t}_1 \cdot [\alpha_{nncp} + (a + a^2) \cdot \alpha_{nkcp}] = \dot{t}_1 (\alpha_{nncp} - \alpha_{nkcp}) \\ \dot{\phi}_2 = \dot{t}_2 (\alpha_{nncp} - \alpha_{nkcp}) \\ \dot{\phi}_3 = \dot{t}_3 (\alpha_{nncp} - \alpha_{nkcp}) \end{cases}.$$

Выражение $(\alpha_{nncp} - \alpha_{nkcp})^{-1}$ является рабочей емкостью C_{pab} или емкостью фазы линии. По рабочей емкости в нормальном режиме вычисляют зарядные емкостные токи, поэтому ее также называют зарядной. Рабочая емкость является эквивалентом емкости фазы по отношению к земле C_0 и емкости между проводами $C_{mф}$ [2]

$$C_{pab} = 3C_{mф} + C_0,$$

где $C_{mф}$ – дельные емкости между фазами;

C_0 – удельные емкости фаз по отношению к земле.

Запишем α_{nncp} и α_{nkcp} для единицы длины ЛЭП, заменив r_n на радиус провода R :

$$\alpha_{nncp} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_a} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\ln \frac{2h_1}{R} + \ln \frac{2h_2}{R} + \ln \frac{2h_3}{R} \right); \quad \alpha_{nkcp} = \frac{1}{2\pi\varepsilon_a} \cdot \frac{1}{3} \cdot \left(\ln \frac{b_{12}}{a_{12}} + \ln \frac{b_{23}}{a_{23}} + \ln \frac{b_{13}}{a_{13}} \right).$$

Тогда значение $C_{раб}$ для единицы длины определится по выражению

$$C_{раб} = \frac{1}{\alpha_{нлсп} - \alpha_{нлсп}} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln \left[\frac{2}{R} \cdot \sqrt[3]{\frac{(h_1 \cdot h_2 \cdot h_3) \cdot (a_{12} \cdot a_{23} \cdot a_{13})}{b_{12} \cdot b_{23} \cdot b_{13}}} \right]} \quad (4)$$

Если фазные провода ЛЭП расположены по вершинам равностороннего треугольника, согласно рисунку 1а, то

$$h_1 = h_3 = h; h_2 = h + \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}; b_{12} = b_{23} = \sqrt{\left(2h + \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2}; b_{13} = \sqrt{4h^2 + a^2}; a_{12} = a_{23} = a_{13} = a,$$

тогда

$$C_{раб} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln \left[\frac{2}{R} \cdot \sqrt[3]{\frac{h^2 \cdot \left(h + \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}\right) \cdot a^3}{\left[\left(2h + \frac{a}{2} \cdot \sqrt{3}\right)^2 + \left(\frac{a}{2}\right)^2\right] \cdot \sqrt{4h^2 + a^2}}} \right]} \quad (5)$$

Если принять условие, что $a \ll h$, то есть пренебречь влиянием земли, после преобразования (5) получим

$$C_{раб} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln \frac{a}{R}} \quad (6)$$

При горизонтальном расположении проводов, согласно рисунку 1б, имеем:

$$a_{12} = a_{23} = a; a_{13} = 2 \cdot a; h_1 = h_2 = h_3 = h; b_{12} = b_{23} = \sqrt{4h^2 + a^2}; b_{13} = \sqrt{4h^2 + 4a^2},$$

тогда

$$C_{раб} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln \left[\frac{2ha\sqrt{2}}{R \cdot \sqrt[3]{(4h^2 + a^2) \cdot \sqrt{4h^2 + 4a^2}}} \right]} \quad (7)$$

Введя прежнее условие $a \ll h$, получим

$$C_{раб} = \frac{2\pi\epsilon_a}{\ln \left(\frac{\sqrt[3]{2} \cdot a}{R} \right)} \quad (8)$$

Используя (6) и (7) запишем выражение для емкостной проводимости электропередачи единичной длины

$$b_0 = \omega \cdot C_{раб} = 2\pi f C_{раб}.$$

После подстановки численных значений постоянных и перейдя от натурального логарифма к десятичному $\lg(N) = \lg(e) \cdot \ln(N)$, получим выражение (1).

При этом в случае расположения проводов по вершинам равностороннего треугольника

$$D_{сп} = \sqrt[3]{a_1 \cdot a_2 \cdot a_3} = a,$$

а при горизонтальном расположении

$$D_{сп} = \sqrt[3]{a \cdot a \cdot 2a} = \sqrt[3]{2}a.$$

Таким образом, выражение (1) может быть использовано в следующих случаях:

1 ЛЭП является одноцепной и не имеет заземленного грозозащитного троса;

2 Длина ЛЭП должна быть много меньше длины электромагнитной волны ($l \ll \lambda$);

3 ЛЭП должна быть симметричной (на линии осуществлена транспозиция) при симметричной системе фазных напряжений;

4 Высота подвеса проводов ЛЭП над землей должна быть много больше расстояния между ними ($h \gg a$).

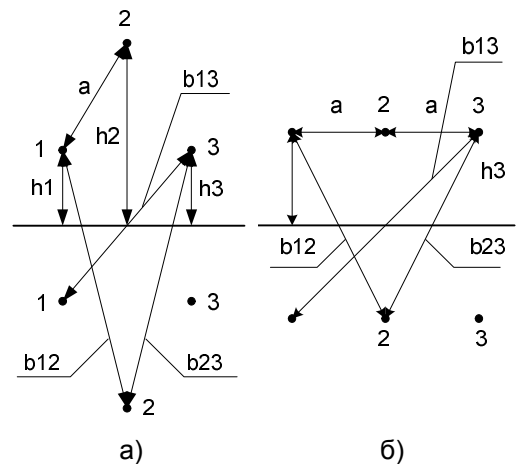


Рисунок 1 – Геометрические размеры ЛЭП при расположении проводов: а)-по вершинам равностороннего треугольника; б)-в одной плоскости

Анализ последнего условия показал, что относительная погрешность определения удельной емкостной проводимости b_0 с использованием величины $C_{раб}$, определенной по формуле (4) и по формулам (3) и (4) при отношениях $h/a > 1$ находится на уровне 2,6-3,5%.

Следует также отметить, что используя выражение (1) можно определить емкостные токи прямой и обратной последовательности, но нельзя определить емкостные токи нулевой последовательности, так как они связаны не с рабочей емкостью $C_{раб}$, а с емкостью фаз по отношению к земле C_0 (рисунок 2).

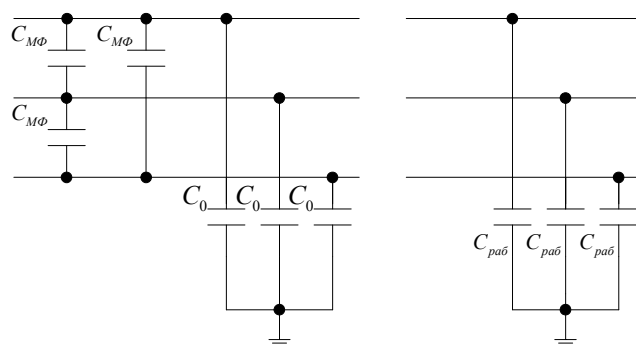


Рисунок 2 – К определению рабочей емкости линии

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Теоретические основы электротехники. Т.3 / К.М. Демирчян [и др.]. -СПб.: Питер, 2006. -384 с.

2 Авербух, А.М. Примеры расчетов неполнофазных режимов и коротких замыканий / А.М. Авербух. -Л.: Энергия, 1979. -183 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

линия электропередачи, емкостная проводимость, заряд, потенциал, рабочая емкость

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Барсков Владислав Владимирович, канд. техн. наук, доцент, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Бурчевский Виталий Анатольевич, гл. энергетик ОАО «РН-Юганскнефтегаз»

Владимиров Леонид Вячеславович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Суриков Валерий Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

Щекочихин Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

628309, Тюменская область, г. Нефтеюганск, ул. Ленина, 26, ОАО «РН-Юганскнефтегаз»

ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

Е.П. Зацепин, Ю.А. Шурьгин

APPLICATION OF OPERATED REACTORS FOR REGULATION OF ELECTRIC PARAMETRES OF ELECTROINSTALLATIONS

«Lipetsk state technical university»

E.P. Zatsepin, Yu.A. Shurygin

Minimisation of changes of electric parametres of the electrotechnical installations functioning in a dynamical mode, by means of use of operated reactors.

Рассмотрена минимизация изменений электрических параметров электротехнических установок, функционирующих в динамичном режиме, при помощи использования управляемых реакторов.

В процессе функционирования электротехнических установок с резкопеременным графиком нагрузок генерируется большое количество электромагнитных помех. Это связано с нелинейным характером нагрузки. Негативное воздействие электромагнитных возмущений нарушает работу релейной защиты, автоматики, систем поисковой и диспетчерской связей, микропроцессорных комплексов, вызывает увеличение потребления электроэнергии, снижение производительности продукции, повышение процента брака, что, в конечном счете, приводит к многомиллионным убыткам.

Функционирование рассматриваемой электроустановки можно разделить на четыре основных периода: расплавление, окисление, восстановление (рафинирование) и простой. В первый наиболее продолжительный период расплавления генерируется основная часть электромагнитных возмущений, вызванных резкими колебаниями токов и напряжений. Остальные периоды плавки характеризуются более спокойный графиком потребляемой мощности и меньшими колебаниями токов и напряжений, а, следовательно, и менее значительными уровнями электромагнитных возмущений. Реактивное сопротивление короткой сети

значительно изменяется во время функционирования электроустановки и существенно отличается от значения в период простоя. При этом наблюдается смещение напряжения нейтральной точки электроустановки относительно напряжения нейтральной точки питающего трансформатора.

Для питания таких электроустановок наибольшее распространение получила схема косвенного регулирования с регулировочным автотрансформатором (рисунок 1а), используемая при $U_{1ном} \geq 35$ кВт и глубине регулирования $\Gamma \leq 5$. В качестве вторичной электромагнитной единицы выступает понижающий трансформатор, а регулирование осуществляется благодаря первичной электромагнитной единице (автотрансформатора). Для регулирования реактивной мощности предлагается применять управляемые реакторы трансформаторного типа, которые отличаются высокой эффективностью и являются наиболее экономичными устройствами потребления избыточной реактивной мощности. Так производится практически безынерциальное плавное регулирование потребляемой реактивной мощности. Существующие регуляторы имеют ряд недостатков. Это не позволяет добиться оптимальных режимов функционирования электроустановок. Основной причиной является несимметрия электрических параметров короткой сети.

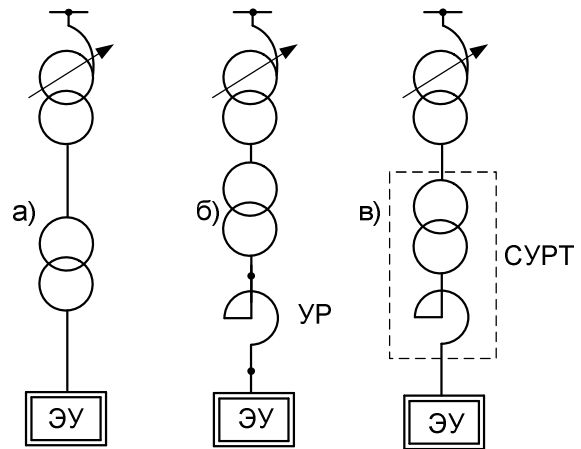


Рисунок 1 – Схемы регулирования электропечной установки: а)-косвенное регулирование с регулировочным автотрансформатором; б)-косвенное регулирование с включением управляемого реактора; в)-косвенное регулирование с использованием СУРТ

Применение управляемого реактора позволяет устранить недостатки существующих систем управления. Его нужно устанавливать на низшее напряжение питающего трансформатора (рисунок 1б) с учетом схемы питания электроустановки и конфигурацией короткой сети. Минимальное сопротивление управляемого реактора соответствует номинальному линейному току и возрастает с его увеличением. Также предлагается вариант применения совмещенного управляемого реактор-трансформатора (СУРТ) в качестве второй электромагнитной единицы (рисунок 1в), работающего в реакторно-трансформаторном режиме. По сравнению с отдельным исполнением этот способ является более экономичным.

Взаимные индуктивности динамично изменяются во время функционирования с разной интенсивностью в зависимости от режима работы электротехнической установки. Это нужно учитывать при выборе способа регулирования электрических параметров короткой сети. Главной задачей реактора является компенсация таких динамических изменений, возникающих при работе существующих регуляторов.

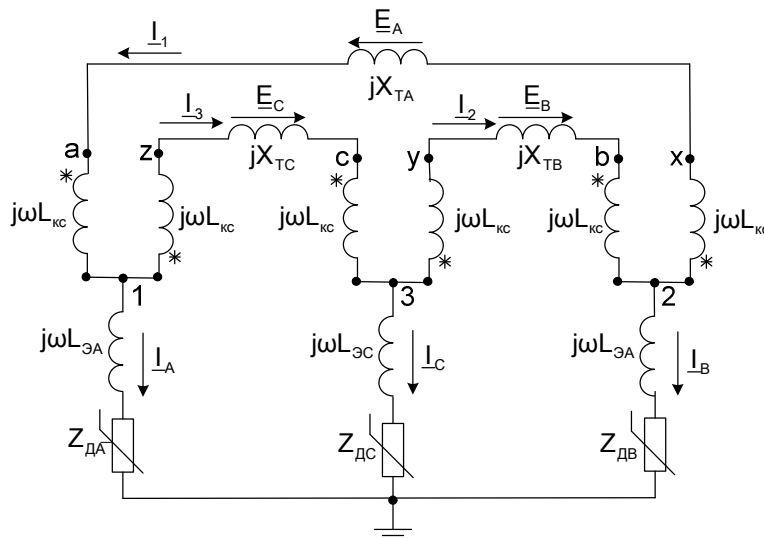


Рисунок 2 – Схема замещения электроустановки

На основании схемы замещения электроустановки (рисунок 2) была составлена система уравнений для линейных напряжений

$$\begin{cases} \underline{U}_{21} = 2j\omega L_{kc} \underline{I}_1 - 2j\omega M_{ax} \underline{I}_1 + j\omega(M_{yx} - M_{ya} - M_{xb} + M_{ba}) \underline{I}_2 + j\omega(M_{ac} - M_{az} - M_{xc} + M_{xz}) \underline{I}_3 - \underline{E}_A; \\ \underline{U}_{13} = 2j\omega L_{kc} \underline{I}_3 - 2j\omega M_{cz} \underline{I}_3 + j\omega(M_{xz} - M_{za} - M_{xc} + M_{ca}) \underline{I}_1 + j\omega(M_{zy} - M_{zb} - M_{cy} + M_{cb}) \underline{I}_2 - \underline{E}_C; \\ \underline{U}_{32} = 2j\omega L_{kc} \underline{I}_2 - 2j\omega M_{yb} \underline{I}_2 + j\omega(M_{yx} - M_{ya} - M_{xb} + M_{ba}) \underline{I}_1 + j\omega(M_{yz} - M_{bz} - M_{yc} + M_{bc}) \underline{I}_3 - \underline{E}_B. \end{cases} \quad (1)$$

Условием симметрии реактивных сопротивлений короткой сети является выполнение равенств

$$\begin{cases} X_{a1} = X_{1z} = X_{c3} = X_{3y} = X_{b2} = X_{2x}; \\ L_1 = L_2 = L_3. \end{cases} \quad (2)$$

Выявлены области изменения линейных (рисунок 3а) и фазных напряжений (рисунок 3б) в процессе функционирования ДСП. Наиболее часто возникает такой вид несимметрии, при котором сопротивление одной из фаз сильно отличается от сопротивлений двух других фаз.

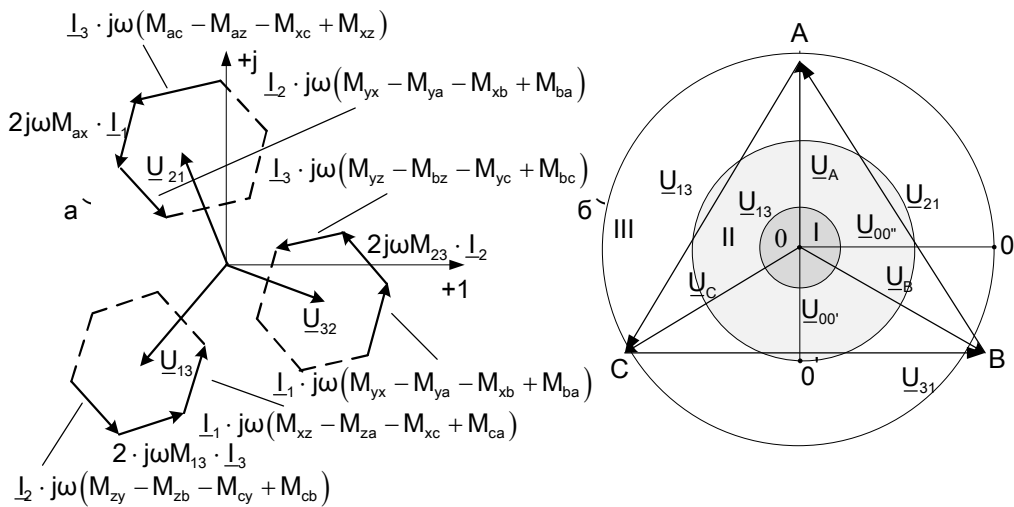


Рисунок 3 – Области изменения напряжения: а)-линейных напряжений; б)-фазных напряжений

В «дикий» фазе протекает максимальный ток вследствие минимального сопротивления. В это время в «мертвой» фазе протекает минимальный ток. При этом перенос мощности с мертвой фазы на дикую полностью не происходит и мощность питающего трансформатора не может использоваться по максимуму. В таком случае основной задачей является принятие мер необходимых для выравнивания фазных сопротивлений. Значения линейных напряжений будут находиться в указанных областях, а фазных – в области II (рисунок 3б). Граница области обусловлена максимальной разницей между линейными напряжениями. Радиусом такой окружности будет напряжение смещения нейтрали $\underline{U}_{00'}$.

В случае обрыва фаз все фазные токи будут равны нулю, а фазные напряжения будут иметь меньшие значения и, следовательно, не выйдут за пределы указанной области. При коротком замыкании напряжение смещения нейтральной точки нагрузки будет более значительным. В этом случае область будет иметь больший радиус $\underline{U}_{00'}$ (рисунок 3б область III). Представление областей изменения фазных напряжений приведено для наглядного восприятия, на самом деле они несколько другие. Границами зоны нечувствительности будут фазные напряжения при равенстве коэффициентов несимметрии 2%. В пределах второй области в качестве регулировочного устройства должен использоваться гидравлический привод и управляемый реактор, обеспечивающий минимизацию электромагнитных помех, возникающих в короткой сети.

Третья область соответствует режиму короткого замыкания. При коротких замыканиях токи довольно значительны, выбор мощности реактора по этой области приведет к дополнительным затратам, в тоже время регулировочный механизм успешно и достаточно быстро ликвидирует короткие замыкания, поэтому в этой области в качестве регулировочного устройства используется именно он, а управляемый реактор выбирается по второй области. Возможно использование реактора для частичного ограничения тока короткого замыкания.

Наиболее тяжелым для регулирования является период расплавления металла. В на-

стоящее время проанализировано влияние индуктивного сопротивления на электрические параметры электроустановки. Повышение реактивного сопротивления короткой сети способствует снижению дисперсии токов и мощности, увеличению средней вводимой в печь активной мощности, снижению расхода электроэнергии, уменьшению колебаний напряжения и фликкер эффекта. Оно актуально в течение первого периода плавки. Как уже отмечалось, остальные периоды характеризуются более спокойным графиком нагрузки и менее значительными колебаниями токов и напряжений. Однако излучение дуги в жидкие периоды не экранируется шихтой и представляет существенную опасность для футеровки стен и свода. Проведенный анализ показал, что плотность потока излучения от «дикой» фазы значительно больше чем от «мертвой». В эти периоды целесообразно не повышение индуктивного сопротивления, а его плавное регулирование за счет использования управляемого реактора.

Предложенный способ регулирования позволяет стабилизировать режим работы, снизить колебания токов и напряжений, минимизировать смещение нейтральной точки электроустановки относительно нейтральной точки питающего трансформатора, уменьшить удельный расход электроэнергии, а, следовательно, повысить эффективность функционирования электроустановки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бош, В.И. Особенности систем электроснабжения сталеплавильных производств: монография / В.И. Бош, Е.П. Зацепин. -Липецк: ЛГТУ, 2006. -152 с.

2 Забудский, Е.И. Совмещенные регулируемые электромагнитные реакторы / Е.И. Забудский. -М.: Энергоатомиздат, 2003. -436 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электроустановка, управляемый реактор, регулирование, параметры

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зацепин Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

Шурыгин Юрий Анатольевич, ассистент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ЗАВИСИМОСТЬ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

С.А. Филимонов

DEPENDENCE OF THE RESOURCE OF CABLE SYSTEM ISOLATION ON DURATIONS OF SINGLE-PHASE GROUND SHORT CIRCUIT

«Lipetsk state technical university»

S.A. Filimonov

The parametrical approach of increase of a resource of isolation of a cable network by means of minimization of durations of single-phase short circuits on the earth at the expense of indemnification of capacitor currents of leak is presented.

Представлен параметрический подход повышения ресурса изоляции кабельной сети посредством минимизации длительностей однофазных замыканий на землю за счет компенсации емкостных токов утечки.

При протекании токов короткого замыкания температура проводников и токоведущих частей аппаратов повышается. Критерием термической стойкости проводников следует принимать допустимую температуру их нагрева токами короткого замыкания (КЗ). Длительное превышение температуры неизбежно сокращает срок службы изоляции, приводя ее к плавлению или обугливаю.

В расчетах минимального значения тока короткого замыкания рекомендуется учитывать сопротивление электрической дуги в месте КЗ и увеличение активного сопротивления проводников вследствие их нагрева (эффект теплового спада тока короткого замыкания), а также изменение индуктивных сопротивлений от смещения фазных проводов. Ресурс изоляции электроустановок и коммутационных аппаратов определяется величиной конечной температуры нагрева проводника с учетом теплоотдачи в изоляцию.

Такой подход используется при оценке теплового спада тока КЗ, когда активное сопротивление проводника составляет меньше 20% от суммарного индуктивного сопротивления цепи. Активное сопротивление проводника при начальной температуре θ_n определяется как

$$R_n = R_n \cdot l \cdot \frac{\theta_{усл} + \theta_n}{\theta_{усл} + \theta_{норм}}, \quad (1)$$

где R_n – погонное активное сопротивление проводника, Ом/м;
 l – длина проводника до места короткого замыкания, м;
 $\theta_n, \theta_{норм}$ – соответственно начальная и нормируемая температура, °С;
 $\theta_{усл}$ – условная температура проводника, °С.

Температуру проводника до КЗ можно рассчитать по формуле

$$\theta_n = \left(\frac{I_{ном.расч}}{I_{доп.прод}} \right)^2 \cdot (\theta_{доп.прод} - \theta_{окр.ном}) + \theta_{окр}, \quad (2)$$

где $I_{ном.расч}$ – расчетный ток нормального режима, А;
 $I_{доп.прод}$ – допустимый ток продолжительного режима для проводника заданного сечения, А;
 $\theta_{доп.прод}, \theta_{окр.ном}$ – соответственно допустимая температура нагрева проводника в продолжительном режиме и нормированная температура окружающей среды, °С;
 $\theta_{окр}$ – температура окружающей среды, °С.

Увеличение активного сопротивления проводников при замыкании следует учитывать с помощью расчетного коэффициента K_θ

$$R_{от} = K_\theta \cdot R_n. \quad (3)$$

В общем случае K_θ зависит от материала проводника. Он равен

$$K_\theta = \frac{\theta_{усл} + \theta_k}{\theta_{усл} + \theta_n}, \quad (4)$$

где θ_k – конечная температура проводника, °С.

Расчет нагрева изолированных проводников (кабелей) следует выполнять с учетом теплоотдачи в изоляцию. Необходимость ее учета определяется из сопоставления расчетного времени нагрева $t_{откл}$ с критической продолжительностью короткого замыкания $t_{откл.кр}$ при выполнении $t_{откл} \geq t_{откл.кр}$. Для кабелей с алюминиевыми и медными жилами $t_{откл.кр}$ можно определить по зависимостям

$$t_{откл.кр(Al)} = 0,65 \cdot 10^{-2} \cdot S; \quad t_{откл.кр(Cu)} = 1,22 \cdot 10^{-2} \cdot S, \quad (5)$$

где S – площадь поперечного сечения проводника, мм².

Конечная температура нагрева проводника с учетом теплоотдачи в изоляцию выразится уравнением

$$\theta_k = (\theta_n + \beta) \cdot \exp\left(\frac{I_{п(t)}^2 \cdot t_{откл}}{k_n^2 \cdot S^2 \cdot \varepsilon^2}\right) - \beta, \quad (6)$$

где $I_{п(t)}$ – ток дугового КЗ в момент отключения, А;
 $t_{откл}$ – длительность нагрева проводника от действия тока короткого замыкания, с;
 k_n – постоянная, зависящая от материала проводника (для Cu $k_n = 226 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$; а для Al $k_n = 148 \text{ А} \cdot \text{с}^{1/2} / \text{мм}^2$);
 β – величина, обратная по температурному коэффициенту сопротивления при 0 °С (для меди $\beta = 234,5 \text{ °С}$, а для алюминия $\beta = 228 \text{ °С}$);
 ε – коэффициент, учитывающий отвод тепла,

$$\varepsilon = \sqrt{1 + F \cdot A \cdot \sqrt{\frac{t}{S}} + F^2 \cdot B \cdot \left(\frac{t}{S}\right)}, \quad (7)$$

где F – коэффициент, учитывающий неполный тепловой контакт между проводником и изоляцией;

A, B – эмпирические постоянные, определяющие термические характеристики неметаллических материалов, в мм²/с^{1/2} и мм²/с

$$A = \frac{C_1}{\sigma_c} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}} = \frac{2464}{\sigma_c} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_i}{\rho_i}}; \quad B = \frac{C_2}{\sigma_c} \cdot \frac{\sigma_i}{\rho_i} = \frac{1,22}{\sigma_c} \cdot \frac{\sigma_i}{\rho_i}, \quad (8)$$

- σ_c – удельная объемная теплоемкость токопроводящей части, Дж/(К·м³);
- σ_i – удельная объемная теплоемкость неметаллических материалов, Дж/(К·м³);
- ρ_i – удельное термическое сопротивление окружающих неметаллических элементов, К·м/Вт.

Значение тока дугового КЗ в момент отключения $I_{n(t)}$ с учетом дуги

$$I_{n(t)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{каб}} + R_{\text{д}})^2 + X_{\Sigma}^2}}, \quad (9)$$

где $U_{\text{ср.ном}}$ – среднее номинальное напряжение ступени;

$R_{\text{каб}}, R_{\text{д}}$ – соответственно активное сопротивление кабеля и дуги.

При изменении активного сопротивления действующее значение периодической составляющей тока КЗ следует рассчитывать по выражению

$$I_{n(t)} = \frac{U_{\text{ср.ном}}}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_{\text{каб}} \cdot K_{\theta} + R_{\text{д}})^2 + X_{\Sigma}^2}}. \quad (10)$$

Согласно закону Аррениуса срок службы изоляции подчиняется экспоненциальному соотношению

$$\tau_{\text{эл.из}} = T_{\text{зод}} \left(1 + \frac{\Delta T_{\text{кз}}}{T_{\text{кз.БК}}} \right) \exp \left(\alpha + \frac{\beta}{\theta_{\text{к}}} \right), \quad (11)$$

где $T_{\text{зод}}$ – расчетное количество часов в году, $T_{\text{зод}} = 8760$ ч;

$\Delta T_{\text{кз}}$ – эффективное время минимизации длительности замыканий на землю в рассматриваемой сети за год, ч;

$T_{\text{кз.БК}}$ – продолжительность дуговых замыканий на землю без обеспечения компенсации емкостных токов утечки, ч;

α – температурный коэффициент сопротивления металлических элементов проводника;

$\theta_{\text{к}}$ – конечная температура проводника с учетом теплоотдачи в изоляцию при КЗ, °С.

Параметр $\Delta T_{\text{кз}}$ целесообразно определять в зависимости от степени компенсации емкостных токов для распределительных сетей без резонансного заземления нейтрали, с ручной настройкой и автоматической компенсацией

$$\Delta T_{\text{кз}} = T_{\text{кз.БК}} - T_{\text{комп}}, \quad (12)$$

где $T_{\text{комп}}$ – длительность замыкания на землю, ч.

При отсутствии эффективной компенсации емкостных токов в заданной распределительной сети $T_{\text{комп}}$ соответствует значению $T_{\text{кз.БК}}$. В этом случае сокращение длительностей однофазных замыканий на землю не происходит, то есть $\Delta T_{\text{кз}} = 0$.

Располагая температурой нагрева проводников в режиме однофазного замыкания на землю, можно оценить ресурс изоляции $\tau_{\text{эл.из}}$. Повышать его предлагается на основе минимизации времени замыканий. Это может достигаться компенсацией емкостных токов утечки. Зависимость долговечности материала изоляции кабельной линии от длительности однофазного замыкания на землю показана на рисунке. Из анализа динамики видно, что резонансная настройка заземления

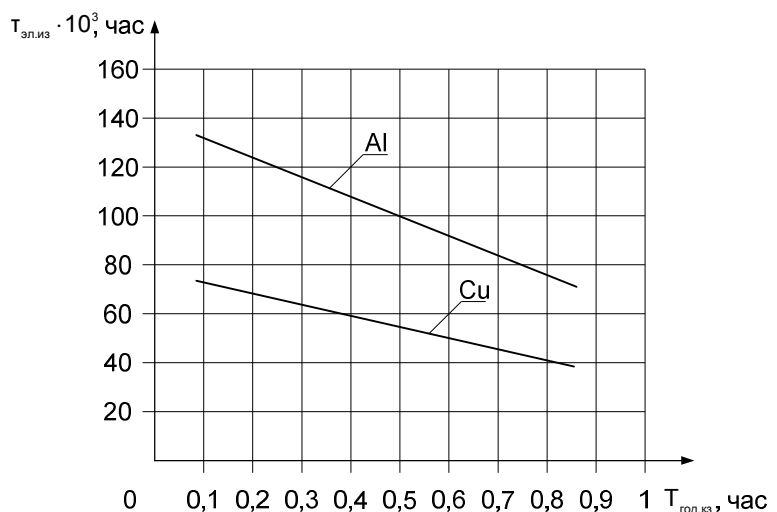


Рисунок – Зависимость ресурса изоляции для кабельной линии 6 кВ от длительности однофазного замыкания на землю за год

нейтрали ведет к уменьшению суммарных длительностей замыкания на землю в течение года.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ресурс изоляции кабельной сети, однофазное замыкание на землю, ток короткого замыкания

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Филимонов Сергей Александрович, аспирант ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

АНАЛИЗ ДВУХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин

ANALYS OF TWO APPROACHES TO DEFINITION OF ELECTROMAGNETIC FORCES

«Novosibirsk state technical university»

L.I. Malinin, V.A. Kondratyev, V.L. Malinin

The analysis of the formulas for account of electromagnetic forces in electromagnetic converters of a constant current is executed. The new approach to definition of electromagnetic forces based on rules of electro-dynamics of slowly driven environments and account of elastic deformations in the electromagnetic mechanism is offered.

Выполнен анализ формул для расчета электромагнитных сил в электромагнитных преобразователях постоянного тока. Предложен новый подход к определению электромагнитных сил, основанный на положениях электродинамики медленно движущихся сред и учете упругих деформаций в электромагнитном механизме.

При определении электромагнитных сил в электромеханических устройствах с поступательным движением якоря в настоящее время доминирует подход, сформированный в [1]. В технических приложениях, построенных на его основе, полагается допустимым электромагнитную силу определять исходя из статических характеристик потокосцепления обмотки. При этом электромагнитная сила рассматривается как функция положения якоря и намагничивающей силы обмотки в данный момент времени [2]. Использование представленного традиционного подхода обеспечивает удовлетворительное качество расчетов только при относительно низких значениях скоростей и ускорений параметров состояния (тока в обмотке и перемещения якоря) электромагнитных преобразователей (ЭМП) напряжения либо тока в обмотке в тяговое усилие.

В последнее время появились работы [3, 4], выявляющие зависимость усилий, развиваемых ЭМП, от темпов изменения токов в обмотке по координате перемещения якоря. Теоретический характер этих статей, построенный на основе электродинамики движущихся сред, а также отсутствие сопоставления с традиционным подходом расчета электромагнитных сил на основе так называемого энергетического метода служат причиной недостаточного применения предлагаемых положений в практике.

Целью статьи является изложение результатов анализа традиционного и предлагаемого в [3, 4] подходов к определению тяговых сил в динамических процессах электромагнитного привода постоянного тока с поступательным движением якоря ЭМП.

Для простоты изложения и восприятия материала использована модель ЭМП, свойства которого обусловлены простейшими электрической и магнитной цепью при линейной характеристике намагничивания материала магнитопровода. Влияние вихревых токов на работу ЭМП не учитывается.

Исходные положения для анализа. Динамические свойства ЭМП в приводе могут определяться на основании совместного решения уравнений электрического равновесия (по второму закону Кирхгофа), магнитного равновесия (по закону полного тока) и уравнения механического равновесия (по второму закону Ньютона):

$$e_{и.п} = iR_{и.п} + \frac{d\psi}{dt}; \quad (1)$$

$$iW_o^2 = \psi \left(R_{м.ц} + R_{3,0} \frac{\delta_0 - x}{\delta_0} \right); \quad (2)$$

$$F_{3м} = F_c + m_{п.ч} \frac{d^2x}{dt^2}. \quad (3)$$

где $e_{и.п}$ – ЭДС источника питания;

- $R_{ц.п}$ – электрическое сопротивление цепи питания;
- i – ток обмотки;
- ψ – потокосцепление обмотки;
- w_0 – число витков обмотки;
- $R_{м.ц}, R_{з.0}$ – соответственно, магнитные сопротивления цепи магнитопровода и воздушного зазора при начальном зазоре δ_0 ;
- x – перемещение подвижных частей электромагнитного механизма, отсчитываемое от δ_0 ;
- $F_{эм}, F_c, m_{п.ч}$ – соответственно, электромагнитное усилие якоря ЭМП, сила сопротивления движению, масса подвижных частей электромагнитного механизма.

В силу того, что все электромагнитные компоненты электромеханического процесса привода являются функциями перемещения и времени анализ его свойств должен выполняться с привлечением аппарата частных производных пространственно-временного процесса.

Обратим внимание на выражение тока i через мгновенные значения потокосцепления ψ и индуктивности L обмотки

$$i = \psi / L. \quad (4)$$

Составляющие выражения (4) – сложные функции времени, в которых промежуточным аргументом является перемещение. Например, для рассматриваемого простейшего ЭМП с учетом обозначений, принятых для (2), индуктивность обмотки может быть представлена выражением

$$L = \frac{a}{1 + b[\delta_0 - x(t)]/\delta_0}. \quad (5)$$

где a, b – постоянные коэффициенты

$$a = w_0^2 / R_{м.ц}; \quad b = R_{з.0} / R_{м.ц}.$$

При изменении тока обмотки i в функции времени t по линейному закону $i = I_0 - \alpha t$, введя обозначение для скорости движения якоря v , можно для потокосцепления обмотки как функции времени и перемещения получить следующие выражения:

$$\psi = \frac{a(I_0 - \alpha t)}{1 + b(\delta_0 - x)/\delta_0};$$

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial t} + \frac{\partial \psi}{\partial x} \frac{dx}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial t} + v \frac{\partial \psi}{\partial x} = \frac{-a\alpha}{1 + b(\delta_0 - x)/\delta_0} + \frac{ab(I_0 - \alpha t)}{\delta_0 [1 + b(\delta_0 - x)/\delta_0]^2} v.$$

Если потокосцепление изменяется в функции времени по линейному закону

$$\psi = \psi_0 + kt,$$

то

$$i = \frac{\psi_0 + kt}{a} [1 + b(\delta_0 - x)/\delta_0];$$

$$\frac{di}{dt} = \frac{\partial i}{\partial t} + v \frac{\partial i}{\partial x} = \frac{k}{a} [1 + b(\delta_0 - x)/\delta_0] - \frac{b(\psi_0 + kt)}{a\delta_0} v.$$

В выражении (1) напряжение, определяемое производной $d\psi/dt$, равно сумме напряжений, обусловленных скоростями изменения тока обмотки (трансформаторного напряжения – $u_{мп}$) и перемещения (напряжения от движения якоря – $u_{дв}$), компенсирующих соответствующие ЭДС обмотки

$$\frac{d\psi}{dt} = \frac{\partial \psi}{\partial t} + v \frac{\partial \psi}{\partial x} = u_{мп} + u_{дв}. \quad (6)$$

Исходя из выражения производной изменения тока обмотки во времени

$$\frac{di}{dt} = \frac{\partial i}{\partial t} + v \frac{\partial i}{\partial x}, \quad (7)$$

можно записать

$$i = \int \frac{\partial i}{\partial t} dt + \int v \frac{\partial i}{\partial x} dt = \int \frac{\partial i}{\partial t} dt + \int \frac{\partial i}{\partial x} dx = i_{мп} + i_{дв}. \quad (8)$$

В (8) частная производная $\partial i/\partial x$ имеет четкий физический смысл, так как характеризует темп изменения индуцируемого движением тока по координате перемещения. Разделение

тока на две составляющие не противоречит и закону Ома для участка цепи. Для совместного решения уравнений (1)-(3) необходимо располагать выражением электромагнитной силы, соответствующей представлениям о передаче и преобразовании электромагнитной энергии в приводе на всех стадиях его работы.

Критические замечания к определению электромагнитной силы при традиционном подходе. Традиционный подход, принятый в [1], является энергетическим и базируется на использовании магнитной энергии (коэнергии) при переменных состоянии ЭМП i и x . Электромагнитная сила определяется из энергетического баланса, записанного для элементарных энергий, в виде

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{м.п} + dA_{мех} = dW_{м.п} + F_{эм} dx, \quad (9)$$

где $dW_{у.п}$, $dW_{м.п}$, $dW_{м.п}$ – энергии, соответственно, источника питания, тепловых потерь, магнитного поля;

$dA_{мех}$ – механическая энергия.

Процесс энергопреобразования рассматривается как взаимные преобразования энергии магнитного поля и механической энергии. На основе формул (1), (4) и (9) справедливо выражение

$$e_{у.п} i dt - i^2 R_{у.п} dt = \frac{i^2}{2} dL + L i dx + \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx} dx,$$

из которого значение электромагнитной силы в процессе движения определяется по формуле

$$F_{эм} = \frac{i^2}{2} \frac{dL}{dx}. \quad (10)$$

Для неподвижного состояния якоря, на основе принципа виртуальной работы, выражение для силы магнитного тяжения может быть записано в виде

$$F_m = \frac{i^2}{2} \frac{\partial L}{\partial x} \Big|_{x=Const}, \quad (11)$$

что при совпадении виртуального перемещения δx с реальным перемещением dx приводит к форме (10).

Таким образом, традиционный подход для всех режимов работы ЭМП предусматривает использование формулы (10) и отождествляет силу магнитного тяжения с электромагнитной силой движения, использует выражение для магнитной энергии в виде $W_{м.п} = Li^2/2$ как для неподвижного состояния якоря, так и при его движении.

Вместе с тем известно, что представление плотности электромагнитной энергии $w_{эм}$ в виде суммы электрического $w_{э.п}$ и магнитного $w_{м.п}$ компонентов

$$w_{эм} = w_{э.п} + w_{м.п} = \frac{\epsilon_a \bar{E}^2}{2} + \frac{\mu_a \bar{H}^2}{2},$$

справедливо только для постоянного во времени электромагнитного поля [5]. В нестационарном процессе плотность энергии электромагнитного поля [4]

$$w_{эм} = \left(\epsilon_a \bar{E}^2 + \frac{\bar{D}^2}{2\epsilon_a} - \bar{D}\bar{E} \right) + \left(\mu_a \bar{H}^2 + \frac{\bar{B}^2}{2\mu_a} - \bar{B}\bar{H} \right) - \bar{v} \left(\epsilon_a [\bar{E}\bar{B}] + \mu_a [\bar{D}\bar{H}] \right),$$

не может быть разделена на электрическую и магнитную составляющие, которые характеризуются параметрами сред (ϵ_a, μ_a) и векторами состояния электрического (\bar{E}, \bar{D}) и магнитного (\bar{H}, \bar{B}) полей. Поэтому, использование энергии магнитного поля $W_{м.п}$ в форме, присущей электромагнитным устройствам с неподвижным якорем, в энергетическом балансе (9), является неправомерным.

Раздельное использование энергий электрического и магнитного полей, свойственное традиционному подходу со ссылкой на низкую скорость движения якоря, приводит к противоречию в основном положении традиционного подхода: возможности преобразования магнитной и механической энергии. В этом случае, с одной стороны

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{эм} = dW_{э.п} + dW_{м.п},$$

а согласно (9)

$$dW_{у.п} - dW_{м.п} = dW_{м.п} + dA_{мех},$$

то есть $dA_{мех} = dW_{э.п}$ и никакого преобразования магнитной энергии в механическую энергию быть не может. Полученный результат соответствует фундаментальному положению элек-

тродинамики [5], установленному в рамках возможного разделения электромагнитного поля на электрический и магнитный компоненты: механическая работа равна по величине и противоположна по знаку работе электрического поля, индуцированного движением. Иными словами: механическая работа совершается за счет энергии электрической компоненты электромагнитного поля. Магнитная же компонента электромагнитного поля не совершает механической работы. Анализировать процесс преобразования энергии магнитного поля в механическую энергию, без рассмотрения стадии образования электромагнитного поля (появления индуцированного вихревого электрического поля) недопустимо. Таким образом, форма энергетического баланса (9) справедлива только для определения сил в неподвижном состоянии электромеханического устройства в соответствии с принципом виртуальной работы. Формула (11) не вызывает сомнения, а формула (10), может рассматриваться как приближение при медленных движениях и неприемлема для расчета электромагнитных устройств с форсированными электродинамическими свойствами.

Основные положения предлагаемого подхода к определению электромагнитной силы. Предлагаемый подход основывается на том, что баланс мощности, как следствие закона сохранения энергии, отражается в уравнениях электромагнитного состояния устройства и может быть корректно составлен на основе этих уравнений. Если выделить индуцированные токи и напряжения, обусловленные движением, то в балансе мощностей будет присутствовать электромагнитная мощность, потребляемая в процессе движения электромагнитного механизма (ЭММ). Через величину электромагнитной мощности можно определить тяговое усилие, развиваемое ЭММ во всех его состояниях.

Традиционный и предлагаемый подходы принципиально отличаются описанием процесса преобразования энергии.

В традиционном подходе используется баланс элементарных энергий согласно (9). В его основу положено разделение электромагнитного поля на электрический и магнитный компоненты. Электромагнитная сила движения отождествляется с силой магнитного тяжения и определяется из энергии магнитного поля.

Предлагаемый подход основывается на фундаментальных положениях электродинамики. Учитывается, что в общем случае электромагнитная энергия устройства частично потребляется процессом движения, а оставшаяся часть приобретает характер обменной энергии $W_{эм.об}$ между источником питания и механической подсистемой привода [4]. Электромагнитная энергия движения определяет величину электромагнитного усилия при движении якоря. Эти положения предопределяют баланс энергий в виде

$$dW_{у.л} - dW_{т.л} = dW_{эм} = dW_{эм.об} + dA_{мех}.$$

Преобразование электромагнитной энергии – это пространственно-временной процесс и электромагнитная мощность устройства равна

$$P_{эм} = \frac{dW_{эм}}{dt} = \frac{\partial W_{эм}}{\partial t} + v \frac{\partial W_{эм}}{\partial x}. \quad (12)$$

Первое слагаемое выражения (12) представляет скорость преобразования энергии в фиксированной точке положения якоря и соответствует понятию электромагнитной обменной мощности $P_{эм.об}$. Второе слагаемое соответствует понятию электромагнитной мощности движения $P_{эм.де}$.

На примере рассматриваемого простейшего ЭМП, выделив индуцированные напряжения, баланс электрической мощности может быть представлен в виде

$$e_{у.л} j - i^2 R_{у.л} = i \frac{d\psi}{dt} = i \frac{\partial \psi}{\partial t} + v i \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (13)$$

Отсюда электромагнитная мощность движения равна

$$P_{эм.де} = v \cdot i \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (14)$$

На основе (14) электромагнитная сила движения представляется в виде

$$F_{эм} = \frac{P_{эм.де}}{v} = i \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (15)$$

Дальнейший анализ связан с тем, что силы, действующие в ЭМП, служат причиной либо ускорения подвижных частей (динамическое действие), либо изменения формы его элементов при упругих деформациях (статическое действие). Учет упругих деформаций является принципиально необходимым для определения тяговых усилий электромагнитных устройств

с поступательным движением якоря.

При неподвижном якоре в инерциальной системе отсчета согласно третьему закону Ньютона, на якорь и упор, конструктивно связанный с ярмом магнитопровода ЭМП, действуют одинаковые тяговые силы F_m , обусловленные притяжением намагниченных элементов. Под влиянием этих сил возникают упругие деформации упора y и якоря z , происходит уменьшение зазора δ_0

$$\delta = \delta_0 - y - z. \quad (16)$$

Развиваемая при этом механическая мощность определяется суммой мощностей, затрачиваемых на упругую деформацию упора и якоря под действием упругих сил F_y , которые равны по величине и противоположно направлены тяговым силам F_m

$$P_{\text{мех}} = -F_y \frac{dy}{dt} - F_y \frac{dz}{dt} = F_m \frac{dy}{dt} + F_m \frac{dz}{dt}. \quad (17)$$

В соответствии с предлагаемым подходом баланс электромагнитной мощности содержит временной $P_{\text{эм.т}}$ и пространственный $P_{\text{эм.δ}}$ компоненты

$$P_{\text{эм}} = i \frac{d\psi}{dt} = i \frac{\partial \psi}{\partial t} + i \frac{\partial \psi}{\partial \delta} \cdot \frac{d\delta}{dt} = P_{\text{эм.т}} + P_{\text{эм.δ}}. \quad (18)$$

Механическая мощность обеспечивается пространственным компонентом. Временной компонент – это обменная мощность, которая идет на изменение энергии электромагнитного поля. Благодаря этой мощности в установившемся режиме при токе I энергия магнитного поля равна

$$W_M = \int_0^{\infty} i \frac{\partial \psi}{\partial t} dt = \int_0^I L \cdot i \frac{di}{dt} dt = \frac{LI^2}{2}, \quad (19)$$

и только в этом случае возможно корректное выделение магнитной составляющей электромагнитного поля.

Из равенства $P_{\text{мех}} = P_{\text{эм.δ}}$ следует

$$F_m \left(\frac{dy}{dt} + \frac{dz}{dt} \right) = -F_m \frac{d\delta}{dt} = i \frac{\partial \psi}{\partial \delta} \cdot \frac{d\delta}{dt}. \quad (20)$$

С учетом (16) из (20) имеем

$$F_m = -i \frac{\partial \psi}{\partial \delta} = i \frac{\partial \psi}{\partial (y+z)}. \quad (21)$$

Формула (21) определяет тяговую силу через изменение зазора δ вследствие упругой суммарной деформации в упоре и якоре.

В соответствии с законом Гука, оперируя коэффициентами жесткости упора c_y и якоря c_z можно записать

$$F_m = c_y y = c_z z \text{ и } \frac{z}{y} = \frac{c_y}{c_z} = \gamma = \text{Const}, \quad (22)$$

и используя (22), придать выражению (21) вид

$$F_m = i \frac{\gamma}{\gamma+1} \frac{\partial \psi}{\partial z} = i \frac{1}{\gamma+1} \frac{\partial \psi}{\partial y}. \quad (23)$$

Если жесткости элементов велики ($c_y \rightarrow \infty, c_z \rightarrow \infty$), то, применяя правило Лопиталья для раскрытия неопределенности, получаем предельное значение коэффициента $\gamma = 1$. Следовательно, для жестких конструкций

$$F_m = \frac{i}{2} \frac{\partial \psi}{\partial z}, \quad (24)$$

что согласуется с результатом традиционного подхода.

При движении якоря с учетом упругой деформации в упоре условия определения электромагнитных сил зависят от сил сопротивления движению и механической инерции. Ограничимся вначале позиционным характером силы сопротивления движению (деформацией пружины жесткостью $c_{\text{пр}}$) при пренебрежимо малой силе инерции. В этом случае электромагнитная сила уравнивается силой пружины и в соответствии с третьим законом Ньютона и законом Гука

$$F_{эм} = c_y y = c_{пр} x \text{ и } \frac{x}{y} = \frac{c_y}{c_{пр}} = \gamma = \text{Const}.$$

Формально, это ничем не отличается от вышерассмотренного описания состояния неподвижного якоря, поэтому формула для электромагнитной силы движения имеет вид

$$F_{эм} = i \frac{\gamma}{\gamma + 1} \frac{\partial \psi}{\partial x}. \quad (25)$$

В случае упора с высокой жесткостью ($c_y \rightarrow \infty, \gamma \rightarrow \infty$), а отношение $\gamma/(\gamma + 1) \rightarrow 1$. Поэтому для жестких конструкций

$$F_{эм} = i \frac{\partial \psi}{\partial x},$$

что совпадает с (15).

Сравнение электромагнитной силы движения (25) с тяговым усилием (23) при учете упругих деформаций в упоре, так же, как сравнение (15) с (24) для абсолютно жестких конструкций, должно производиться корректно. Например, ошибочно утверждать, что в случае жестких конструкций электромагнитная сила движения в два раза превышает тяговое усилие. Такой вывод может быть сделан при формальном сравнении (15) с (24). В связи с этим обращается внимание на следующие обстоятельства.

Формула (24) соответствует неподвижному состоянию якоря, здесь

$$\frac{\partial \psi}{\partial z} = i \frac{\partial L}{\partial z}.$$

Формула (15) соответствует движению и здесь:

$$\frac{\partial \psi}{\partial x} = i \frac{\partial L}{\partial x} + L \frac{\partial i}{\partial x}, \text{ то есть } \frac{\partial \psi}{\partial x} - \frac{\partial \psi}{\partial z} = L \frac{\partial i}{\partial x}.$$

Последнее выражение отражает очевидную разницу в темпах изменения потокосцепления по геометрической координате для случаев движения и неподвижного состояния.

При произвольной силе сопротивления движению и учете сил инерции

$$F_{эм} = F_{эм} \left(x, \frac{dx}{dt}, t \right), \quad (26)$$

закон Гука и третий закон Ньютона определяют упругую деформацию упора в виде $y = c_y F_{эм}$ и, следовательно, электромагнитная сила движения определяется выражением

$$F_{эм} = i \frac{\partial \psi}{\partial \left[x \left(1 + \frac{F_{эм}}{c_y x} \right) \right]}. \quad (27)$$

Вводя понятие жесткости $c(x) = F_{эм}/x$ и обозначая $\gamma(x) = c_y/c(x)$, получаем выражение

$$F_{эм} = i \frac{\partial \psi}{\partial \left\{ x \left[\frac{\gamma(x) + 1}{\gamma(x)} \right] \right\}}, \quad (28)$$

что в случае абсолютно жесткого упора приводит к (15).

На основании вышеизложенного, с использованием обобщенной координаты q по направлению перемещения якоря для жестких конструкций электромагнитная сила при неподвижном якоре определяется в виде

$$F_{эм} = F_m = \frac{i}{2} \frac{\partial \psi}{\partial q},$$

а при движении якоря

$$F_{эм} = i \frac{\partial \psi}{\partial q}.$$

В динамических расчетах изменение формулы для определения $F_{эм}$ должно выполняться на начальной стадии движения якоря при перемещении его на расстояние, превышающее величины упругих деформаций.

Выводы:

1 Использование аппарата частных производных при анализе процессов в электромагнитном приводе позволяет выделить токи и их составляющие, обусловленные изменением

напряжения питания и движением якоря, определить электромагнитную мощность ЭМП и её компоненты.

2 Традиционный подход к определению электромагнитных сил, использующий при движении якоря только магнитный компонент электромагнитного поля, присущий неподвижному состоянию якоря, искажает физическую суть процесса электромеханического преобразования энергии.

3 Для корректного определения статических и динамических электромагнитных сил необходим учет упругих деформаций в электромагнитном механизме.

4 Электромагнитная сила может быть определена из баланса мощности в результате выделения электромагнитной мощности, востребованной процессом движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Уайт, Д.С. Электромеханическое преобразование энергии / Д.С. Уайт, Г.Х. Вудсон; пер. с англ. Н.Ф. Ильинского, Л.А. Садовского, В.К. Цаценкина; под ред. С.В. Страхова. -М.; Л.: Энергия, 1964. -528 с.

2 Гордон, А.В. Электромагниты постоянного тока / А.В. Гордон, А.Г. Сливинская. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1960. -447 с.

3 Электромагнитные силы в динамических процессах электромеханических систем / Л.И. Малинин, В.И. Малинин, В.Д. Макельский, В.А. Тюков // Электротехника. -1998. -№12. -С. 18-22.

4 Энергетические соотношения и электромагнитные силы в медленно движущихся средах / Л.И. Малинин, В.И. Малинин, В.Д. Макельский, В.А. Тюков // Электричество. -2001. -№11. -С. 62-65.

5 Тамм, И.Е. Основы теории электричества / И.Е. Тамм. -М.: Гостехиздат, 1976. -616 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная энергия, механическая энергия, обменная энергия, электромагнитная сила

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Малинин Леонид Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Кондратьев Владимир Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Малинин Вячеслав Леонидович, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, П.В. Бувев

MATHEMATICAL MODEL ANALYSIS OF FUNCTIONING FOR RESTORABLE SYSTEM OF RELAY PROTECTION

«Lipetsk state technical university»

A.N. Shpiganovich, P.V. Buev

The mathematical description and model of calculation of indicators of non-failure operation of functioning for restored system relay protection on the basis of the pulse streams theory positions is presented.

Представлено математическое описание и модель расчета показателей безотказности функционирования для системы восстанавливаемой релейной защиты на основе положений теории импульсных потоков.

Вероятность безотказной работы восстанавливаемой системы $p_e(t)$ в течение времени t может быть определена по функции распределения ее наработки на отказ. Если наработку на отказ отдельного элемента рассматривать как длительность импульса, а время для восстановления как паузу элементарного потока, то определение функции наработки на отказ элемента сводится к задаче о совпадениях импульсов независимых потоков. Плотность вероятности распределения наработки на отказ элемента определяется как

$$W(t) = \bar{\tau}_n \frac{d}{d\tau^2} \prod_{i=1}^n \frac{1}{\bar{\tau}_i} \int_{\tau}^{\infty} dx \int_x^{\infty} \omega_i(t) d\tau, \quad (1)$$

где $\bar{\tau}_n$ – математическое ожидание наработки на отказ элемента релейной защиты.

Когда элемент в момент времени ζ оказывается исправным, то в интервале $\zeta, \zeta + 1$ он будет работоспособен с вероятностью

$$p_s(t) = \frac{1}{\bar{\tau}_n} \sum_{t=1}^{\infty} \int_x dx \int W(t) dt . \quad (2)$$

Решая (1) с учетом (2) относительно $p_s(t)$, получим

$$p_s(t) = \prod_{i=1}^n \frac{1}{\bar{\tau}_i} \int dx \int \omega_i(\tau) d\tau . \quad (3)$$

Распределение наработки на отказ на считают экспоненциальным

$$W(t) = \frac{1}{\bar{\tau}_n} \exp\left(-\frac{t}{\bar{\tau}_n}\right) . \quad (4)$$

где $\bar{\tau}_n$ – математическое ожидание наработки на отказ элемента системы релейной защиты, равное математическому ожиданию длительности импульса совпадений, описывающих функционирование элементов.

Математическое ожидание наработки на отказ отдельных элементов

$$\bar{\tau}_n^* = \int_0^{\infty} \tau \alpha(\tau) d\tau , \quad (5)$$

где $\alpha(\tau)$ – плотность вероятности наработки на отказ оборудования.

Рассматривая $\bar{\tau}_n$ как математическое ожидание длительности импульса совпадения от совместного функционирования элементов в системе релейной защиты, его значение оценивается как величина, обратная средней частоте с бесконечно короткими паузами при $t \rightarrow \infty$

$$\bar{\tau}_n = \frac{1}{\bar{\mu}(\infty)} ; p_s(t) = \exp\left(-t \sum_{i=1}^n \frac{1}{\bar{\tau}_i}\right) . \quad (6)$$

Если использовать (5), тогда имеем равенство

$$p_s^*(t) = \exp\left(-t \int_0^{\infty} \tau \alpha(\tau) d\tau\right) . \quad (7)$$

Отметим, что при определении $p_s(t)$ имеется в виду, что к моменту времени ζ элементы системы выработали часть своего ресурса. Поэтому для одномодальных распределений $\omega_i(t)$ выполняется условие

$$p_{нс}(t) \geq p_s(t) , \quad (8)$$

где $p_{нс}(t)$ – вероятность работы невозстанавливаемой системы.

Неравенство (8) будет иметь место только в том случае, когда наработка на отказ элементов подчиняется экспоненциальному закону. В данном случае вероятностные параметры не будут зависеть от момента их оценки. Для обеспечения требуемого уровня безотказности системы целесообразным является дублирование отдельных элементов и подсистем, то есть использование избыточности релейной защиты (структурного резервирования).

В качестве математической модели функционирования элемента технической системы принимаем стационарный импульсный поток $X_s^*(z) (s = 1, 2, 3, \dots, n)$. Время перехода на резерв равно Θ_s , его закон распределения известен. Тогда выделим из потока паузы длительностью меньшей Θ_s' и большей Θ_s'' времени перехода на резерв. Средняя частота появления пауз Θ_s' имеет вид

$$\bar{\mu}_s' = \bar{\mu}_s \int_0^{\Theta_s} \beta_s(\Theta) d\Theta , \quad (9)$$

где $\bar{\mu}_s'$ – средняя частота отказов;

$\beta_s(\Theta)$ – плотность вероятности распределения восстановления отказавшего элемента.

Паузы, длительностью большей Θ_s , следуют с частотой

$$\bar{\mu}_s'' = \bar{\mu}_s - \bar{\mu}_s' = \bar{\mu}_s \int_{\Theta_s}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta = \bar{\mu}_s \int_{\Theta_s}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta . \quad (10)$$

На основании теоремы сложения вероятностей, вероятность пауз потока $X_s^*(z) (s = 1, 2, 3, \dots, n)$ равна сумме вероятностей пауз, длительностью меньшей и большей вре-

мени перехода на резерв

$$\bar{p}_s = \bar{\Theta}_s' \bar{\mu}_s' + \bar{\Theta}_s'' \bar{\mu}_s'' , \quad (11)$$

где $\bar{\Theta}_s'$, $\bar{\Theta}_s''$ – математические ожидания пауз потока $X_s^*(z)$, меньшей и большей времени перехода на резерв.

С возникновением отказов элементов, длительностью больших времени перехода на резерв, продолжительность отказов системы равна времени перехода на резерв. Представив функционирование системы с учетом структурной избыточности случайным импульсным потоком, вероятность отказов определится суммой вероятностей пауз меньших и равных по длительности времени перехода на резервные элементы

$$\bar{p}_n = \bar{\Theta}_s' \sum_{s=1}^n \bar{\mu}_s' + \bar{\Theta}_s'' \sum_{s=1}^n \bar{\mu}_s'' . \quad (12)$$

Чтобы сравнить воздействие отказов элементов на функционирование системы без резерва и с резервом наряду с частотами, необходимо установить остальные параметры потоков вида при оснащении системы структурной избыточностью.

Для определения математического ожидания паузы с длительностями $\bar{\Theta}_s^* \geq \bar{\Theta}_3$ из потока $X_s^*(z)$ исключим паузы, у которых и длительности меньше времени перехода на резерв. Оставшиеся можно рассматривать как сумму двух составляющих: постоянной, равной времени $\bar{\Theta}_3$, и переменной. Математическое ожидание длительности переменной

$$\bar{\Theta}_{s,пер}'' = \frac{\int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} (\Theta_s - \bar{\Theta}_3) \beta_s(\Theta) d\Theta}{\int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta} ; \bar{\Theta}_s'' = \bar{\Theta}_{s,пер}'' + \bar{\Theta}_3 = \frac{\int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} (\Theta_s - \bar{\Theta}_3) \beta_s(\Theta) d\Theta + \bar{\Theta}_3 \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta}{\int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta} . \quad (13)$$

Решая относительно математического ожидания длительности паузы $\bar{\Theta}_s'$ получим

$$\bar{\Theta}_s' = \frac{\bar{\Theta}_s - \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} (\Theta_s - \bar{\Theta}_3) \beta_s(\Theta) d\Theta - \bar{\Theta}_3 \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta}{\int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta} . \quad (14)$$

Отказы элементов, меньшие по длительности времени перехода на резерв вызывают остановки системы, равные длительностям этих отказов. В результате вероятность остановок системы меньше вероятности отказов элементов на величину $\Delta \bar{p}_n$

$$\Delta \bar{p}_n = \sum_{s=1}^n \bar{\Theta}_s'' \bar{\mu}_s'' - \bar{\Theta}_3 \sum_{s=1}^n \bar{\mu}_s'' = \sum_{s=1}^n \bar{\Theta}_{s,пер}'' \bar{\mu}_s'' = \sum_{s=1}^n \bar{\Theta}_{s,пер}'' \bar{\mu}_s'' \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta .$$

При экспоненциальном распределении длительностей пауз

$$\Delta \bar{p}_n = \sum_{s=1}^n \bar{p}_s \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta = \sum_{s=1}^n \bar{\Theta}_s \bar{\mu}_s \int_{\bar{\Theta}_3}^{\infty} \beta_s(\Theta) d\Theta . \quad (15)$$

Вероятность отказов системы со структурным резервированием

$$\bar{p}_{n,p} = \bar{p}_n - \Delta \bar{p}_n = (\bar{\mu}_n \bar{\Theta}_{n,n}) + \bar{\mu}_n \bar{\Theta}_{n,n} \int_0^{\bar{\Theta}_3} \beta(\Theta) d\Theta \approx \bar{\mu}_n \bar{\Theta}_n \int_0^{\bar{\Theta}_3} \beta(\Theta) d\Theta . \quad (16)$$

Здесь принято $\bar{\Theta}_{n,n} \approx \bar{\Theta}_n$, так как для иерархических технических систем всегда выполняется неравенство $\bar{\Theta}_n \gg \bar{\Theta}_3$. При экспоненциальном распределении пауз зависимость преобразуется к виду

$$\bar{p}_{n,p} = \bar{\mu}_n \bar{\Theta}_n \int_0^{\bar{\Theta}_3} \beta(\Theta) d\Theta . \quad (17)$$

Наличие структурного резервирования не исключает число отказов системы. Частота отказов системы без резервирования равна частоте отказов при структурной избыточности. Математическое ожидание длительности паузы потока системы со структурной избыточностью

$$\bar{\Theta}_{n,p} = \bar{\Theta}_n \int_0^{\bar{\Theta}_3} \beta(\Theta) d\Theta . \quad (18)$$

Используя вероятность и математическое ожидание длительности паузы, можно определить параметры импульса искомого потока. Значение интеграла характеризует степень независимости работы системы от отказов ее элементов. Он выражает значение коэффициента связи структурного резервирования K_c

$$K_c = \int_0^{\bar{\theta}_3} \beta(\theta) d\theta. \quad (19)$$

Для полной характеристики потока системы необходимо знать законы распределения длительностей пауз и импульсов, которые состоят из пауз, меньших и равных времени перехода на резерв.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *математическая модель, безотказность функционирования, восстанавливаемая система, релейная защита*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
Бувев Павел Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»*

КОМПЛЕКС ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПРОВАЛОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

А.Н. Шпиганович, И.Г. Шилов

COMPLEX OF DYNAMIC SUPPRESSION OF BROWNOUTS AND VOLTAGE RECOVERY

«Lipetsk state technical university»

A.N. Shpiganovich, I.G. Shilov

In article the multipurpose complex of dynamic suppression of brownouts and voltage recovery in electric networks 6 (10)/0,4 kV, technical characteristics and skilled results are presented.

Представлен многофункциональный комплекс динамического подавления провалов и восстановления напряжения в электрических сетях 6(10)/0,4 кВ, технические характеристики и опытные результаты.

Среди известных средств ограничения искажений особое место занимают устройства восстановления напряжения. Принцип их работы основан на ограничении провала в течение времени ликвидации аварии, за которое происходит опасное снижение действующего (среднеквадратического) напряжения. Это устанавливается только двумя параметрами – длительностью и глубиной посадки. Перспективным направлением в борьбе с провалами является разработка и внедрение устройства динамического восстановления напряжения (ДВН) в системах электроснабжения. Использование схем тиристорного управления с принципом широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и контроля позволяет моделировать режимы работы ДВН на базе математического аппарата.

Основной задачей тиристорного преобразователя служит формирование напряжения синусоидальной формы заданной амплитуды, частоты и угла сдвига фаз. Компенсированная составляющая определяется разностью между номинальным и фактическим напряжением на участках сети. Работа преобразователя основана на использовании энергии, запасенной в накопителе, который питает его напряжением в цепи постоянного тока. Полупроводниковые элементы ТП коммутируются в заданной последовательности при функционировании в режиме устранения провала. Эти средства могут задействоваться для нормирования остальных показателей качества электроэнергии по напряжению. Устройство ДВН подключается последовательно к нагрузке через вольтодобавочный трансформатор. Результирующее значение выражается суммой напряжений от поврежденного участка сети и компенсированного от ДВН. Контур ДВН представляет эквивалентная схема с источником напряжения. Полное входное сопротивление системы $Z_{сети}$ зависит от уровня, динамики нарушения электроснабжения на шинах нагрузки. При аварийном снижении напряжении в сети устройством ДВН вводится дополнительная составляющая через вольтодобавочный трансформатор с последовательным подключением. Компенсированная часть и позволит поддерживать требуемый уровень напряжения на нагрузке $U_{наг}$. Величина $U_{ДВН}$ рассчитывается по выражению

$$U_{ДВН} = U_{наг} + Z_{сети} I_{наг} - U_{сети}, \quad (1)$$

где $U_{наг}$ – требуемое напряжение на стороне нагрузки;
 $Z_{сети}$ – полное сопротивление системы;
 $I_{наг}$ – расчетная сила тока участка распределительной сети;
 $U_{сети}$ – напряжение системы в момент провала напряжения.
 Величину нагрузочного тока определяют в комплексной форме

$$I_{наг} = \frac{P + jQ}{U_{наг} \exp(j\varphi)}, \quad (2)$$

где P, Q – соответственно, активная и реактивная составляющая мощности нагрузки;
 $\exp(j\varphi)$ – поворотный множитель, отражающий мнимую единицу.

Произведение напряжения и сопряженного комплексного тока представляет мощность, вырабатываемой устройством ДВН

$$S_{двн} = U_{двн} I_{наг} (\cos \varphi + j \sin \varphi). \quad (3)$$

где φ – угол фазового сдвига между вектором нагрузочного тока $I_{наг}$ и компенсированного напряжения $U_{двн}$.

В случае, когда величина угла $\varphi = 90^\circ$, то для сглаживания провала ДВН нет необходимости генерировать активную мощность. Для этого потребуется только реактивная составляющая от тиристорного преобразователя устройства. Отметим, что сохранение равенства $\varphi = 90^\circ$ между векторами целесообразно до некоторой глубины провала напряжения, после которой восстановление 100% уровня будет невозможно. Исключить такой недостаток позволяет подведение активной составляющей от собственного накопителя энергии устройства ДВН.

Для поддержания и стабилизации уровня напряжения в уязвимых узлах системы электроснабжения разработана адаптивная схема управления режима. Контролирующие блоки производят измерения только среднеквадратического напряжения нагрузки, не требуя фиксации потоков реактивной мощности. При этом коммутация тиристорного преобразователя базируется на принципах ШИМ модуляции синусоидального сигнала с оптимальным временем отклика схемы. Основная доля приемников электроэнергии сосредоточена на уровнях низкого напряжения. Поэтому элементы управляющей части обладают более гибкими техническими параметрами, чем системы передачи энергии переменного тока. При этом коммутация на повышенной частоте повышает эффективность работы преобразователя посредством снижения потерь при переключениях. На вход контроллера поступает сигнал ошибки, который получен от разности величин номинального и среднеквадратического напряжения на зажимах приемника. Данная ошибка обрабатывается пропорционально-интегральным регулятором (ПИ-контроллер). В результате на выходе фиксируется значение угла ψ , которое поступает на генератор сигнала ШИМ. Отметим, что при косвенном управлении преобразователем происходит обмен активной и реактивной мощности вместе с сетью. ПИ-контроллер выдает требуемый угол, чтобы преобразовать ошибочный сигнал к нулю, то есть действующее напряжение нагрузки восстанавливается до номинального уровня. В зависимости от угла по фазе модулируется синусоидальный сигнал $U_{контр}$

$$U_A = \sin(\omega t + \psi); U_B = \sin\left(\omega t + \psi - \frac{2\pi}{3}\right); U_C = \sin\left(\omega t + \psi + \frac{2\pi}{3}\right). \quad (4)$$

Схемная модель фазомодулирования напряжения разработана в приложении SimPowerSystems (MatLab 7.0). Модулированный сигнал соотносится с сигналом треугольной формы для подачи команды на коммутацию вентилях у преобразователя. Основными параметрами синусоидальной схемы ШИМ являются коэффициенты частотной k_f и амплитудной k_m модуляции

$$k_f = \frac{f_{пер}}{f_1}; k_m = \frac{U_{контр}}{U_{треуг}}, \quad (5)$$

где $f_{пер}$ – частота переключения цепи преобразователя;
 f_1 – номинальная частота сети;
 $U_{контр}, U_{треуг}$ – максимальные амплитуды управляющего и треугольного сигнала по напряжению.

Для обеспечения максимума в основной составляющей напряжения на выходе контроллера k_m должен сохраняться на уровне 1 о.е. Частота переключения $f_{пер}$ зафиксирована на 900 Гц, поэтому коэффициент частотной модуляции с учетом основной частоты электрической сети 50 Гц равен 18. В данном случае модулированный угол фиксируется с выхода генератора дискретного сигнала в фазе «А». Углы сдвига фаз «В» и «С» смещены на 240° и 120° соответственно. Использование средств измерения напряжения как элементов обратной связи в схеме контроля позволяет упростить и увеличить гибкость управления режимом. Высокая скорость реакции на сигнал, надежность и устойчивость системы ДВН подтверждаются результатами исследований и моделирования.

Для апробации возможностей средства ДВН создана имитационная схемотехническая модель в среде SimPowerSystems (MatLab 7.0.). Использование программного интерфейса позволяет определить параметры системы электроснабжения и оценить диапазон защиты от провалов напряжения с помощью испытательной части комплекса ДВН (рисунок 1). Сетевым пунктом питания служит источник трехфазной системы напряжений 110 кВ с частотой 50 Гц. Он связан с двумя вводами на главной понизительной подстанции через силовой трехобмоточный трансформатор 110/10/10 кВ с мощностью 63 МВА. Для создания искусственного провала напряжения используется блок модуляции короткого замыкания в сети 10 кВ. Его эквивалентное сопротивление зависит от параметров расчетной нагрузки и срабатывания выключателей.

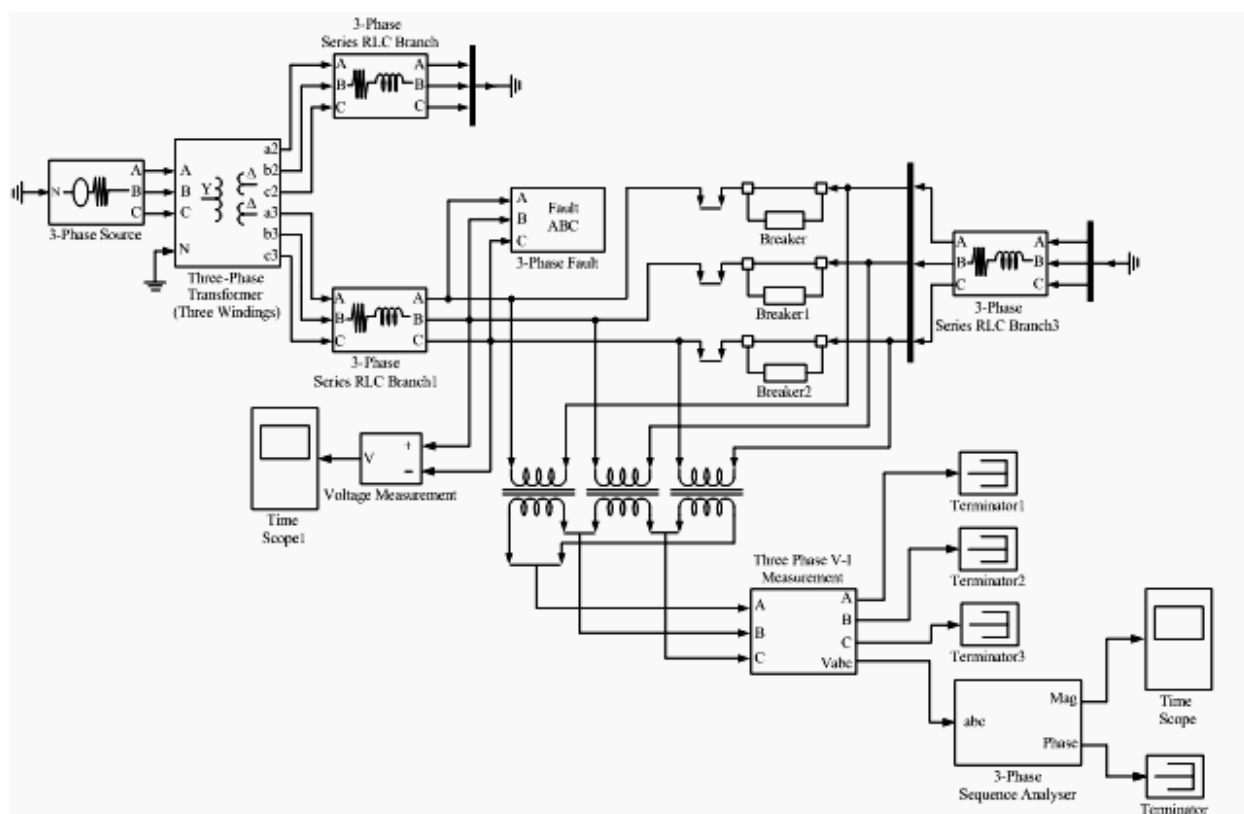


Рисунок 1 – Модель испытательной части комплекса ДВН для искусственного создания провалов напряжения

Для случая моделирования провалов напряжения их длительность принята равной времени действия токов искусственного короткого замыкания, которое определяется быстродействием защиты коммутационных аппаратов. Для схемы электроснабжения непрерывного промышленного производства оно составляет интервал 300-350 мс. При этом емкость накопителя энергии в цепи постоянного тока по напряжению составляет 5 кВ. Моделирование режимов устройства ДВН необходимо при функционировании системы в течение провала напряжения, длительность которого задается испытательной частью комплекса с помощью программного аппарата Simulink. Имитация же кратковременных нарушений электроснабжения позволяет выявить уровень эффективности или оценить параметры защиты от провалов напряжения как основных источников сетевых аварий в сетях 0,4 и 6-10 кВ. Это

необходимо для построения модели функционально-измерительной части комплекса ДВН, которая представлена на рисунке 2. Схемотехнические элементы блочной системы Matlab/Simulink основаны на оперировании шаговых итерационных алгоритмов с анализом состояний фазовой переменной. Блоки Universal Bridge моделируют универсальный мост. Это позволяет выбирать количество плеч моста от 1 до 3, вид полупроводниковых приборов (диоды, идеальные ключи, IGBT и MOSFET транзисторы, управляемые тиристоры IGCT). В модели определяется вид зажимов А, В, С (входные или выходные), сопротивление и емкость демпфирующей цепи, а также измеряемые переменные (Measurements).

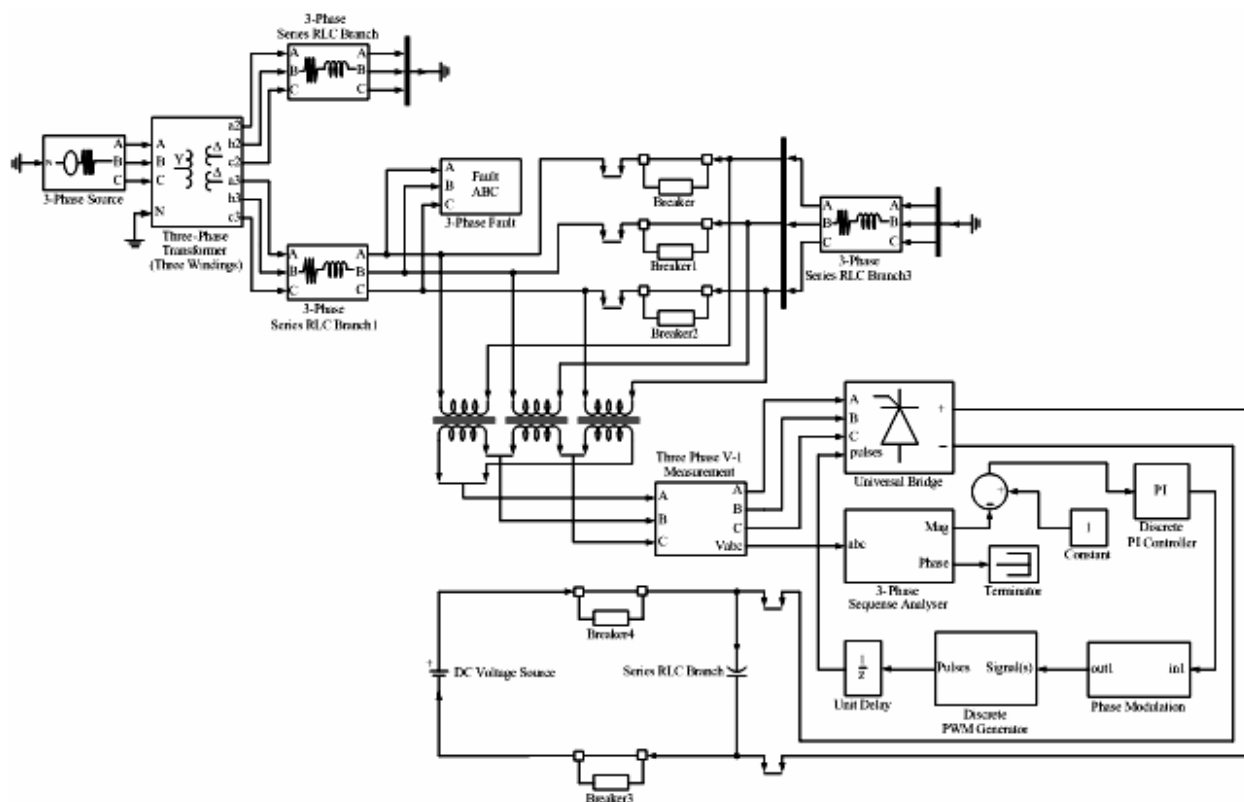


Рисунок 2 – Модель функционально-измерительной части комплекса ДВН

Исходными параметрами имитации провала напряжения служит сопротивление блока модуляции («Fault ABC») 0,01 Ом и диапазон длительности нарушения 250-580 мс. В данном случае глубина провала напряжения составляет 50% от номинального. Осциллограммы на рисунке 3 отражают изменения среднеквадратического и фазного напряжения.

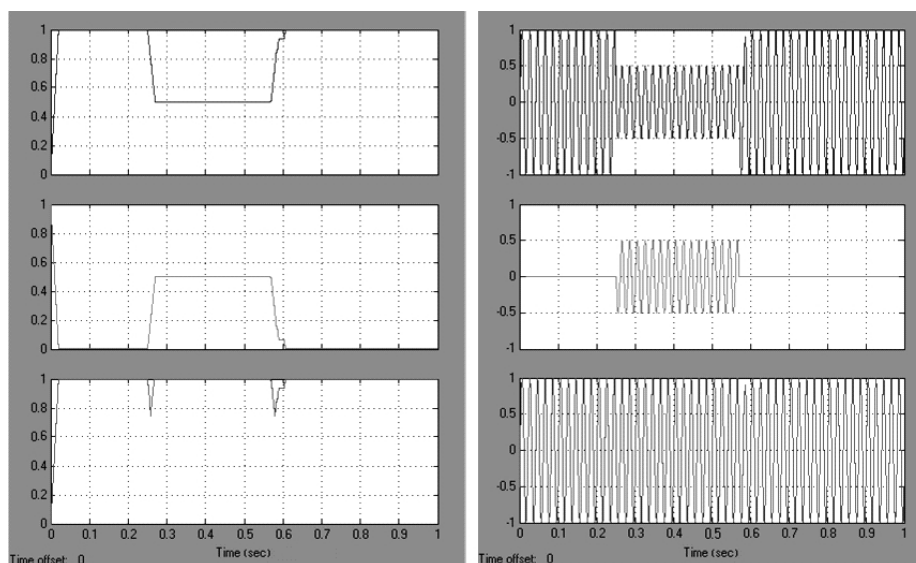


Рисунок 3 – Осциллограммы изменения напряжения при провале с ДВН

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: провал напряжения, динамическое подавление, восстановление напряжения
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шпиганович Александр Николаевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
 Шилов Илья Геннадиевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

НОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.Н. Чижма

THE NEW INDICATORS OF DISTORTION SINE WAVE IN POWER NETWORKS

«Omsk state transport university»

S.N. Chizhma

The new indicators of distortions sine wave, determined new standards.

Рассмотрены новые показатели искажения синусоидальности сигналов, определяемые новыми стандартами.

Вновь водимый ГОСТ Р 51317.4.30-2008 имеет существенные отличия от ГОСТ 13109-97 в отношении показателей искажения синусоидальности напряжения в электрических сетях. В настоящее время в Российской Федерации искажения синусоидальности напряжения характеризуют в соответствии с ГОСТ 13109-97 коэффициентом искажения синусоидальности кривой напряжения и коэффициентами n -й гармонической составляющей напряжения, которые адекватно характеризуют искажения синусоидальности напряжения в электрической сети только в том случае, если сигнал в измерительном окне является периодическим. Однако напряжение в сетях в общем случае представляет собой нестационарный процесс (что практически выражается, например, в колебаниях напряжения и наличии интергармонических составляющих). Результатом нестационарности измеряемого сигнала является передача части энергии от конкретной гармонической составляющей соседним спектральным линиям. Поэтому в ГОСТ Р 51317.4.30-2008 и ГОСТ Р 51317.4.7-2008 введены требования к группированию составляющих спектра на гармонических частотах с соседними спектральными составляющими.

Для контроля уровня интергармоник и удобства интерпретации результатов гармоник и интергармоники объединяют в группы. В данных стандартах сформулированы методы обработки отдельных спектральных линий, следующих друг за другом с частотой 5 Гц, с целью определения так называемых групп гармонических и интергармонических составляющих сигнала, в отношении которых в стандартах и технических отчетах даются соответствующие рекомендации. При этом количество спектральных составляющих интергармоник (в диапазоне гармоник 1-40) – 351, спектральных составляющих субгармоник – 9. Пример детализации гармоник для частоты 50 Гц показан на рисунке 1.

Есть несколько вариантов группирования гармоник и интергармоник [1-4], при этом частотные составляющие объединяются в гармонические группы и подгруппы (рисунок 2а-2в) и в интергармонические группы и подгруппы (рисунок 2г и 2д). Определения, используемые в концепции группировок, верны для токов и напряжений:

– *среднеквадратическое значение гармонической группы* ($Y_{g,n+1}$ на рисунке 2б) – квадрат-

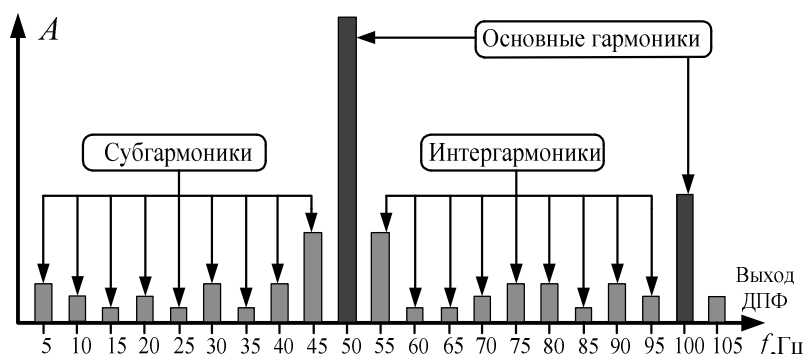


Рисунок 1 – Детализация гармоник для основной частоты 50 Гц

ный корень из суммы квадратов амплитуд гармоник и смежных с ней составляющих спектра в пределах окна наблюдения. Таким образом, производится суммирование энергии соседних спектральных линий со значением соответствующего параметра гармоник

$$Y_{g,n+1} = \sqrt{\frac{Y_{k-5}^2}{2} + \sum_{k=-4}^4 Y_{k+i}^2 + \frac{Y_{k-5}^2}{2}}; \quad (1)$$

– *среднеквадратическое значение гармонической подгруппы* ($Y_{sg,n}$) – квадратный корень из суммы квадратов амплитуд гармоники и двух непосредственно граничащих с ней составляющих спектра. Данная величина позволяет учесть влияние флуктуаций напряжения в процессе исследования напряжения. Структуру подгруппы составляющих сигнала, получающихся в результате ДПФ, определяют путем суммирования запасов энергии частотной составляющей, непосредственно граничащей с гармоникой, со значением соответствующего параметра гармоники

$$Y_{sg,n} = \sqrt{\sum_{k=1}^1 Y_{k+i}^2}; \quad (2)$$

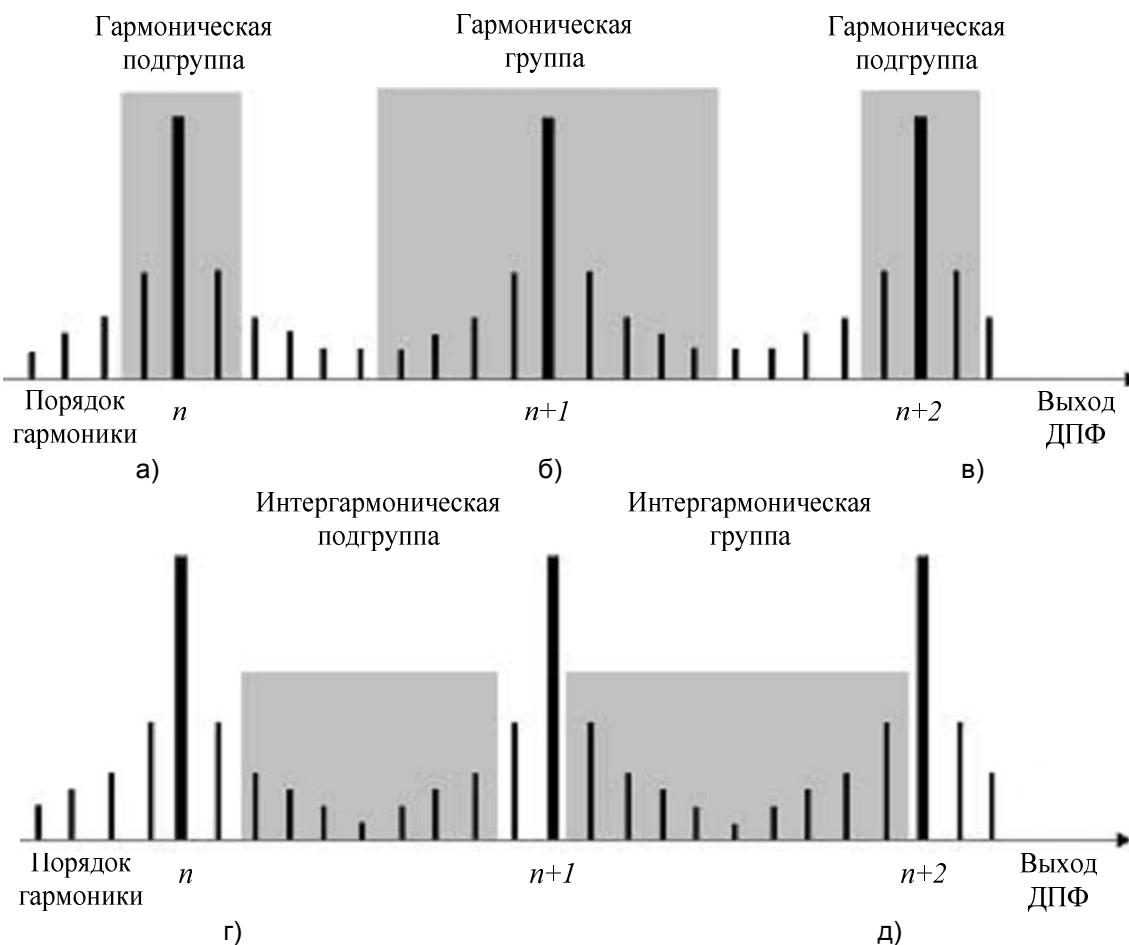


Рисунок 2 – Принцип объединения основных и промежуточных гармоник

– *среднеквадратическое значение интергармонической группы* ($Y_{ig,n+1}$) – среднеквадратическое значение всех составляющих промежуточных гармоник, расположенных в интервале между двумя следующими друг за другом гармоническими частотами

$$Y_{ig,n+1} = \sqrt{\sum_{k=1}^9 Y_{k+i}^2}; \quad (3)$$

– *среднеквадратическое значение центрированной интергармонической подгруппы* ($Y_{isg,n}$) – среднеквадратическое значение всех составляющих промежуточных гармоник, расположенных в интервале между двумя следующими друг за другом гармоническими частотами, за исключением частотных составляющих, непосредственно граничащих с гармоническими частотами

$$Y_{isg,n} = \sqrt{\sum_{k=2}^8 Y_{k+i}^2}. \quad (4)$$

На основании приведенных определений можно проводить измерения для любых групп промежуточных гармоник, а также измерять *общую величину искажения промежуточных*

гармоник, а для основной составляющей можно определять *общее среднеквадратическое значение* или значения иных контрольных величин. Данные величины используются для определения предельных значений.

При определении действующих значений напряжений и токов стандарт [1] предлагает группировать частотные составляющие в основную гармоническую подгруппу (рисунок 2а), в которой содержатся основная гармоника и две смежные интергармоники, а также в интергармоническую подгруппу (рисунок 2г), содержащую восемь интергармоник. Именно гармонические подгруппы и суммарный коэффициент гармонических подгрупп, определяемые по [1], введены в [2] в качестве показателей КЭ вместо коэффициента n -й гармонической составляющей и коэффициента искажения синусоидальности кривой напряжения, примененных в ГОСТ 13109-97.

Для анализа промежуточных гармоник вводятся дополнительные показатели:

– интергармонический коэффициент искажения синусоидальности

$$K_{\text{ИИГ}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n U_i^2}}{U_1}; \quad (5)$$

– субгармонический коэффициент искажения синусоидальности

$$K_{\text{УСГ}} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^s U_i^2}}{U_1}, \quad (6)$$

где U_1 – среднеквадратическое значение (СКЗ) основной составляющей напряжения;

U_i – СКЗ промежуточной гармоники;

i – текущий номер промежуточной гармоники;

n – общее количество рассматриваемых интергармоник;

s – общее количество рассматриваемых субгармоник.

При введении новых стандартов приборы контроля качества электроэнергии должны дополнительно определять следующие параметры:

– СКЗ спектральных составляющих субгармоник и интергармоник напряжений и токов;

– СКЗ гармонических подгрупп и интергармонических подгрупп;

– истинное СКЗ измеряемых напряжений и токов (с учетом гармоник, суб- и интергармоник);

– коэффициенты h -ой спектральной составляющей субгармоник и интергармоник напряжений и токов;

– коэффициенты искажения (с учетом гармоник) синусоидальности напряжений и токов;

– суб- и интергармонический коэффициенты искажения синусоидальности напряжений и токов;

– суммарные коэффициенты искажения синусоидальности напряжений и токов (с учетом гармоник, суб и интергармоник).

Измерения. Большинство устройств, с помощью которых проводятся измерения в системах электроснабжения переменного тока, работают исправно только в том случае, когда в измеряемом сигнале присутствуют лишь основные гармоники. В указанных приборах в целях синхронизации измерений с частотой основной составляющей сигнала и измерения сигнала в течение одного или нескольких циклов, осуществляемого с целью проведения его дальнейшего анализа с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ), применяют замкнутые контуры фазовой автоподстройки частоты. При использовании такого контура измерение частоты в течение одного или нескольких периодов будет точным только в том случае, если в нем отсутствуют промежуточные составляющие. Если же присутствуют негармонические частоты (в период проведения измерений) и/или в рассматриваемом временном интервале форма подвергающегося дискретизации сигнала не является периодической, возникают трудности с интерпретацией полученных результатов.

Процедура измерения промежуточных гармоник сопряжена с большими трудностями, а ее результаты зависят от множества факторов. В [2] представлен метод измерения промежуточных гармоник, основанный на концепции группирования, основанного на анализе Фурье, проводимом во временном окне, равном 10 периодам частоты основной гармоники (50 Гц), то есть 200 мс. Всего же предусмотрено несколько интервалов усреднения, равных 200 мс, 3 с, 1 мин., 10 мин., 2 ч, 1 сутки (по ГОСТ 13109-97 и [1]).

Процедура выборочного исследования заключается в синхронизации с частотой источника электропитания посредством применения замкнутого контура фазовой автоподстройки частоты. В результате получается спектр с разрешением (длиной шага), равным 5 Гц. Синхронизацию можно осуществлять как аппаратным, так и программным методами.

Данный метод хорошо подходит для задач мониторинга и для проведения проверки на совместимость, поскольку предельные значения могут быть определены на основании данных об общей величине искажений, и для их определения не требуется измерять значения отдельных частот. Однако затруднительно применение данного метода в целях диагностики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 51317.4.7-2008. Совместимость технических средств электромагнитная. Системы электроснабжения и подключаемые к ним технические средства. Общее руководство по измерениям гармоник и интергармоник и средствам измерений.

2 ГОСТ Р 51317.4.30-2008. Методы измерений показателей качества электрической энергии.

3 Балаков. Ю.Н. Значение новых стандартов ГОСТ Р 51317.4.30-2008 (МЭК 61000-4-30:2008) и ГОСТ Р 51317.4.7-2008 (МЭК 61000-4-7:2002) для работ по оценке и мониторингу качества электрической энергии / Ю.Н. Балаков // Энергобезопасность и энергосбережение. -2009. -№4. -С. 22-24.

4 Ханзелка, З. Интергармоники / З. Ханзелка, А. Бьень // Энергосбережение. -2005. -№5; 2006. -№3, 4.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *контроль интергармоник, показатели искажения синусоидальности*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Чижма Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.Н. Чижма, Р.И. Газизов

VIRTUAL GENERATOR FOR RESEARCH OF SIGNALS IN ELECTRIC CIRCUITS
«Omsk state transport university»
S.N. Chizhma, R.I. Gazizov

The article deals with virtual universal signal generator, de-signed using MatLab, to simulate signals with distortions in the power supply systems.

Рассмотрен виртуальный универсальный генератор сигналов, созданный с помощью пакета MatLab, предназначенный для моделирования сигналов с искажениями, возникающими в системах энергоснабжения.

Сигналы. Разработка измерительных устройств, предназначенных для контроля качества электроэнергии, состоит из нескольких этапов, среди которых одним из важнейших является моделирование алгоритмов контроля параметров сигнала, которое осуществляется с помощью программ моделирования. Наиболее распространенной программой для моделирования сигналов и систем является программа MatLab, имеющая большое количество приложений, позволяющих решать различные задачи.

В соответствии с ГОСТ 13109-97, приборы контроля качества электроэнергии (ПКЭ) должны определять отклонения частоты сигнала от номинальной, провалы напряжений и перенапряжения, искажения синусоидальности сигнала, несимметрию в трехфазных цепях, импульсные выбросы, дозу фликкера. Однако современные приборы ПКЭ должны контролировать не только эти параметры, но и определять события, происходящие в электрических цепях, например, переходные процессы в виде высокочастотных затухающих колебаний. Разрабатываемый виртуальный генератор предназначен для моделирования сигнала основной частоты и различных отклонений сигнала, которые должны контролировать ПКЭ.

Сигналы, полученные с помощью виртуального генератора, в дальнейшем подвергаются дискретизации с заданным шагом, полученные отсчеты записываются в отдельный файл. Эти отсчеты используются как входные данные при моделировании измерительных алгоритмов приборов контроля качества электроэнергии, могут быть экспортированы в другую

среду для создания и отладки программного обеспечения готовых приборов, например на языках С++ или ассемблер используемого микропроцессора или цифрового сигнального процессора.

Современные приборы, предназначенные для контроля качества электроэнергии, выполняют не только одну функцию контроля качества, но на их базе создаются многофункциональные приборы, включающие функцию счетчика электроэнергии, контроль ПКЭ и регистрацию событий. Для моделирования таких многофункциональных приборов генератор должен моделировать сигналы, воспроизводящие любые возможные сигналы и события в электрических сетях. Генератор позволяет создавать сигналы, имеющие как стационарные, так и нестационарные искажения. К стационарным искажениям сигналов относятся искажения синусоидальности (рисунок 1а), несимметрия, фликкер (рисунок 1б), к нестационарным – кратковременные провалы, пропадания сигнала (рисунок 2а), и увеличение амплитуды (рисунок 2в), импульсные выбросы, кратковременные высокочастотные колебания (рисунки 2б и 2г). Кроме этого, генератор позволяет моделировать высокочастотный шум в сети. В генераторе заложена возможность генерирования гармоник с порядком от 0 (постоянная составляющая) до 180 (9 кГц при основной частоте 50 Гц).

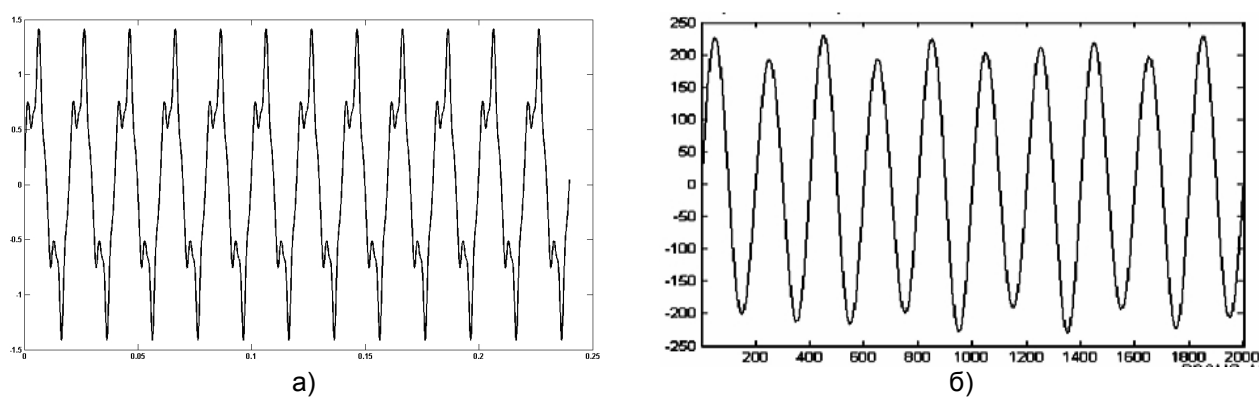


Рисунок 1 – Стационарные искажения сигнала: а)-искажения синусоиды, б)-колебания уровня сигнала (фликкер)

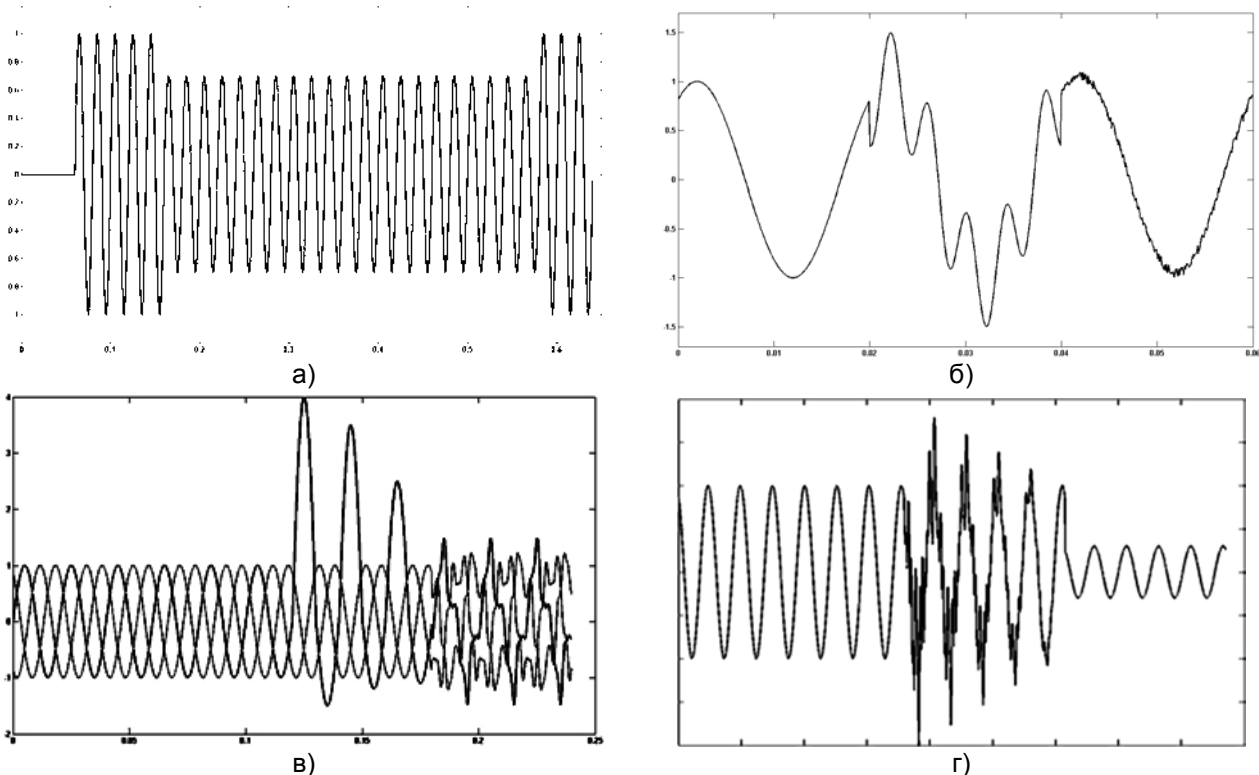


Рисунок 2 – Нестационарные искажения сигнала: а)-пропадание и провал сигнала; б)-кратковременные высокочастотные колебания; в)-превышение напряжения одной из фаз трехфазной сети; г)-сложный переходный процесс с высокочастотными колебаниями при переходе

Генератор позволяет одновременно накладывать искажения на сигнал основной гармоники (рисунок 4), которая при этом может изменять свою частоту.

Генератор. Общий вид графического интерфейса генератора показан на рисунке 5. Панель управления генератором содержит пять полей: поле задания амплитуд гармоник, поле задания фаз гармоник, поле управления моделированием, поле задания событий и поле временных диаграмм.

В поле управления амплитудами гармоник есть возможность управления как с помощью «мыши», непосредственно устанавливая на экране амплитуду гармоники, так и задавая в числовом виде номер гармоники и ее амплитуду. Начальная фаза любой гармоники задается аналогичным способом.

В поле задания событий возможно установить амплитуду и время провала и увеличения сигнала, амплитуду, частоту, начальный и конечный момент высокочастотной или низкочастотной (фликкер) помехи или импульса.

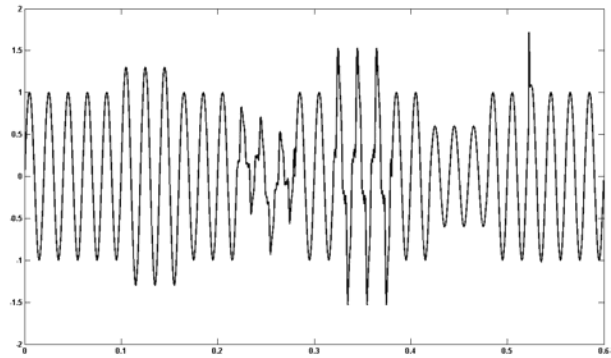


Рисунок 4 – Сигнал, содержащий пять видов искажений

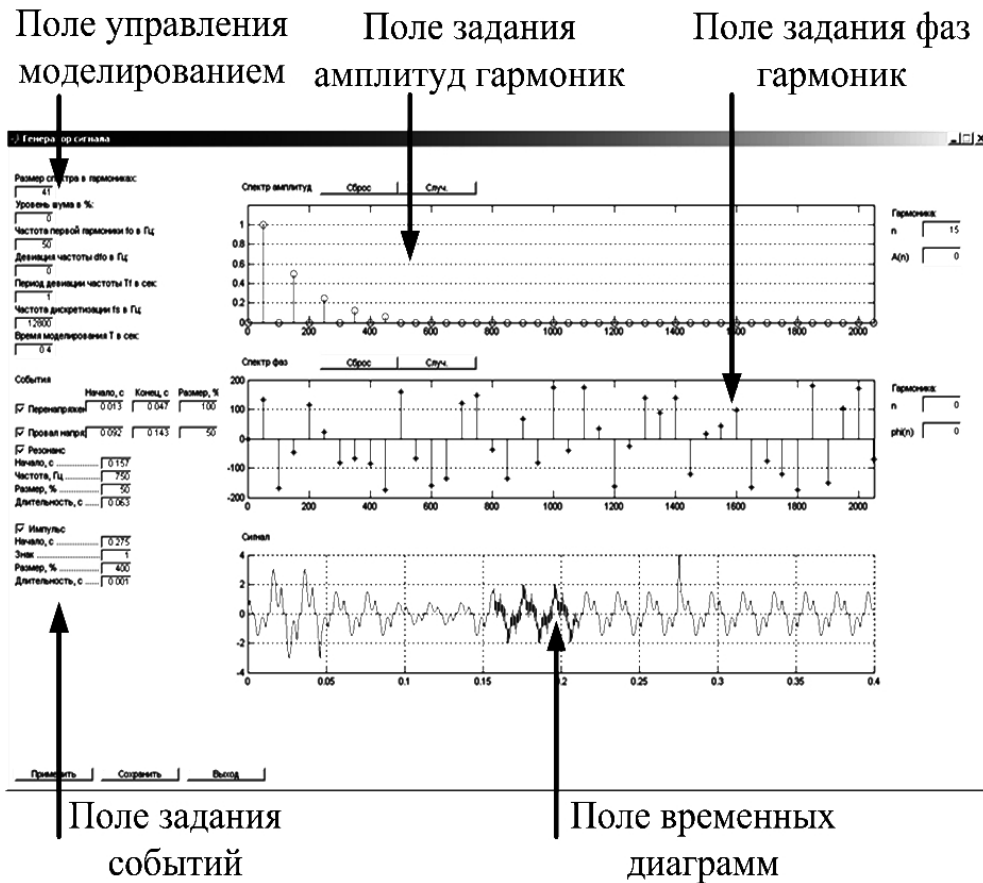


Рисунок 5 – Интерфейс генератора

Поле управления моделированием (см. рисунок 5) позволяет задавать основную частоту и ее отклонение, уровень шума, длительность моделирования и частоту дискретизации. Результирующий сигнал можно наблюдать в поле временных диаграмм. Форма кривой определена теми значениями параметров, которые приведены на рисунке 5.

Значения сигнала, которые получены с помощью виртуального генератора, квантуются с заданной частотой и запоминаются в отдельный файл, который может использоваться как приложениями MatLab, так и внешними программами.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виртуальный генератор, моделирование, помехи

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Чижма Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Газизов Равиль Ильшатович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Д.А. Чумачев

THE MATHEMATICAL MODEL OF THE SYNCHRONOUS TRACTION DRIVE WITH PERMANENT MAGNET
«Novosibirsk state technical university»
D.A. Chumachev

The mathematical model of the synchronous traction drive with permanent magnet is developed.

Разработана математическая модель синхронного тягового электропривода с постоянными магнитами.

За последнее время достижения в области силовых полупроводниковых приборов и производстве высокоэнергетических постоянных магнитов на основе сплавов из редкоземельных металлов, обладающих большой коэрцитивной силой позволили улучшить массогабаритные показатели вентильного электропривода (ВЭП) и получить более высокий вращающий момент. Отмеченные тенденции развития электропривода распространяются и на объекты электрического транспорта. Под ВЭП понимают систему регулируемого электропривода, состоящую из синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) или как его еще называют вентильного двигателя (ВД) и устройства управления, обеспечивающих коммутацию цепей обмоток двигателя в зависимости от положения ротора [1].

Для исследования процессов в ВЭП была разработана его математическая модель при помощи программы MatLab 6.5. Данный пакет содержит широкий спектр типовых динамических звеньев, как линейных, так и нелинейных [7]. Наиболее распространенной формой записи дифференциальных уравнений синхронной машины является представление их в координатах d, q -уравнения Парка-Горева. С учетом сказанного математическая модель электромагнитных процессов в синхронном двигателе с постоянными магнитами может быть представлена в виде системы уравнений в следующем виде [2]:

$$U_{1d} = R_1 i_{1d} + p\psi_{1d} - \omega_{0эл}\psi_{1q}; \quad (1)$$

$$U_{1q} = R_1 i_{1q} + p\psi_{1q} + \omega_{0эл}\psi_{1d}; \quad (2)$$

$$\psi_{1d} = L_{1d} i_{1d} + \psi_f; \quad (3)$$

$$\psi_{1q} = L_{1q} i_{1q}; \quad (4)$$

$$M_{эм} = \frac{3}{2} p_n [\psi_f \cdot i_{1q} + (L_{1d} - L_{1q}) \cdot i_{1d} \cdot i_{1q}]; \quad (5)$$

$$J \frac{d\omega}{dt} = M_{эм} - M_c; \quad (6)$$

$$\omega_{0эл} = p_n \cdot \omega_{мех}; \quad (7)$$

где $M_{эм}, M_c$ – соответственно, электромагнитный момент и момент сопротивления нагрузки;

p_n – число пар полюсов;

J – момент инерции;

$\omega_{0эл}$ – электрическая скорость вращения вала двигателя;

$\omega_{мех}$ – механическая скорость вращения вала двигателя.

Настройка системы выполняется по методике системы подчинённого регулирования (СПР) последовательной настройкой контуров регулирования на требуемый оптимум (технический или симметричный), начиная с внутреннего контура [3, 4]. Структурную схему контура регулирования тока и скорости, можно представить в следующем виде (рисунок 1 и 2)

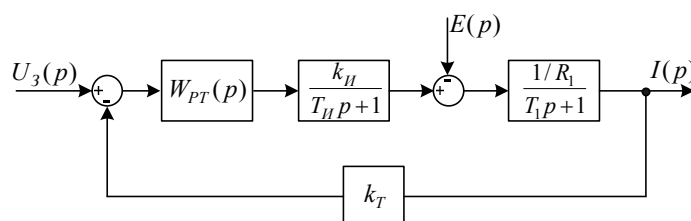


Рисунок 1 – Структурная схема контура регулирования тока электродвигателя, питающегося от вентильного преобразователя

Дальнейшим этапом моделирования является добавление различных объектов уже к существующей модели, которые содержат в себе следующие подсистемы: преобразование координат, модель

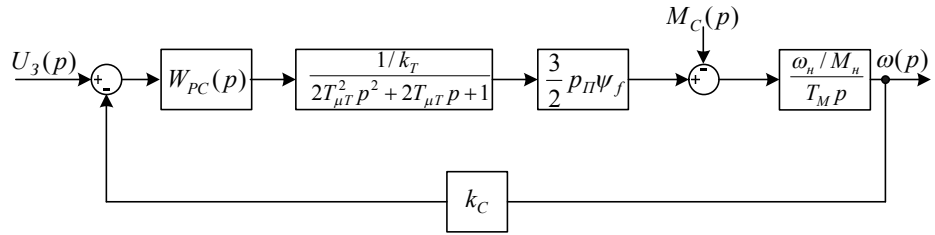


Рисунок 2 – Структурная схема контура регулирования скорости СДПМ

СДПМ, которая описывается дифференциальными уравнениями в системе координат $d-q$, широтно-импульсный преобразователь. При линеаризованном моделировании принималось допущение о безынерционности преобразователя, таким образом, необходимо включить в состав структуры модель широтно-импульсного преобразователя.

Преобразование координат является важным этапом построения математической модели электрической машины, позволяющим привести уравнения модели к виду, наиболее удобному для анализа режимов ее работы и решения конкретных задач управления [5, 6]. Преобразование реальных переменных статора трехфазной машины к ортогональной системе координат $\alpha - \beta$, решается отысканием формул преобразования переменных при условии инвариантности мощности. Преобразуются реальные переменные X_a, X_b, X_c , соответствующие трехфазной системе, в X_α и X_β в ортогональной системе координат $\alpha - \beta$. На следующем этапе подставляется модель двигателя в координатах $d-q$ и модель широтно-импульсного преобразователя, вместо заменявших их звеньев. Также на данном этапе ставятся преобразователи координат, которые обеспечивают переход от двухфазной неподвижной системы к трехфазной вращающейся системе и наоборот. Переходные процессы по токам и скорости приведены на рисунка 3 и 4. Переходной процесс по моменту качественно повторяет ток по поперечной оси.

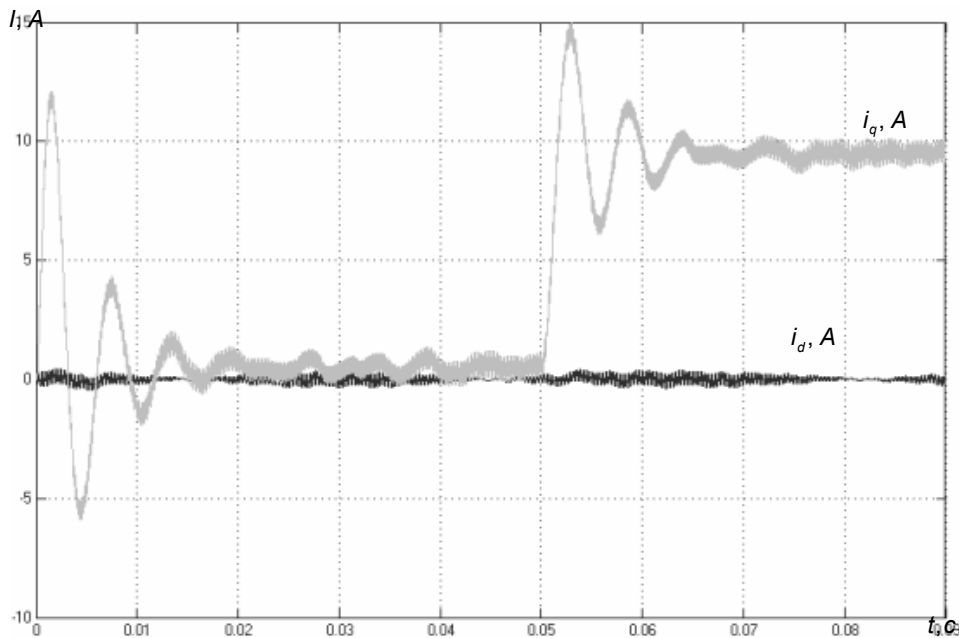


Рисунок 4 – Переходный процесс по токам статора в двухфазной системе при набросе номинальной нагрузки

Для исследования переходных процессов в тяговом приводе была разработана его математическая модель, а именно, был произведен расчет и синтез ПИ-регуляторов в контурах регулирования тока и скорости. Данная модель может быть использована для исследования динамических процессов в тяговом приводе в СДПМ с ШИМ-регулятором, выбора оптимальной частоты ШИМ, исследования энергетических характеристик тягового привода и двигателя в частности.

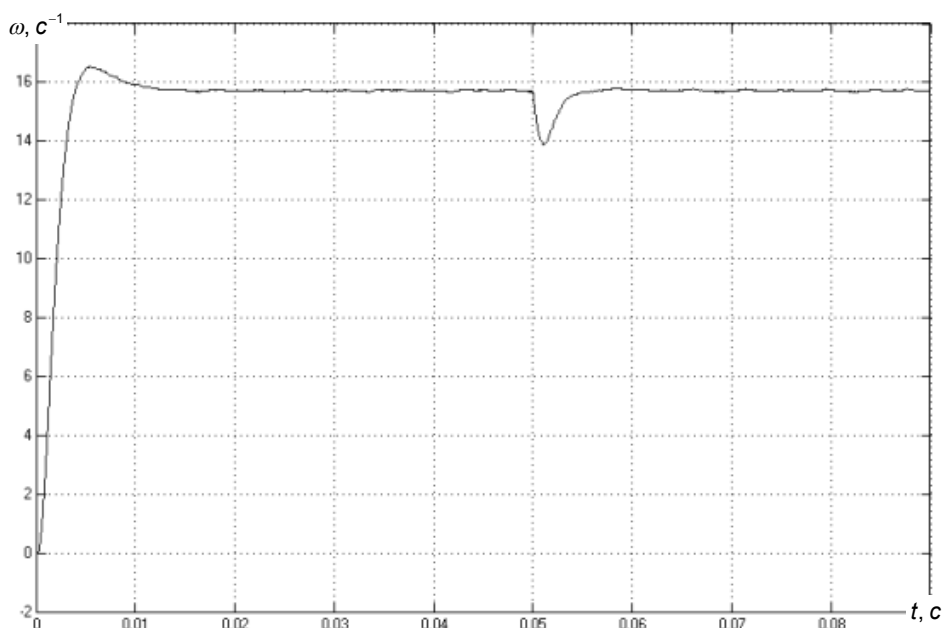


Рисунок 5 – Переходной процесс по скорости при разгоне и набросе номинальной нагрузки

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вентильный электропривод: шанс для российских производителей // Оборудование: рынок, предложение, цены. -2004. -№1.

2 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -272 с.

3 Симаков, Г.М. Системы автоматического управления электроприводами: учеб. пособие по курсовому проектированию / Г.М. Симаков. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-т, 2006. -116 с.

4 Электротехника, электромеханика и электротехнологии: метод. указания. - Новосибирск, 2005. -51 с.

5 Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. -Екатеринбург, 2000. - 654 с.

6 Востриков, А.С. Теория автоматического регулирования / А.С. Востриков, Г.А. Французова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-т, 2006. -368 с.

7 Герман-Галкин, С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учеб. пособие / С.Г. Герман-Галкин. -СПб.: Корона, 2001. -320 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синхронный двигатель с постоянными магнитами, вентильный электропривод, имитационная модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Чумачев Дмитрий Анатольевич, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЕЙБУСА С МОТОР-КОЛЕСОМ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Н.И. Щуров, А.М. Головин, В.В. Бирюков

DETERMINATION OF TRACTION DRIVE POWER FOR TROLLEYBUS EQUIPPED WITH MOTOR-WHEEL
«Novosibirsk state technical university»

N.I. Schurov, A.M. Golovin, V.V. Biryukov

The methodology of traction electric drive power determination for trolleybus with reduced floor level is considered and the example of calculation is shown.

Рассмотрен вопрос определения мощности тягового двигателя переменного тока для подвижного состава троллейбуса с мотор-колёсным приводом и пониженным уровнем пола салона.

Применение мотор-колёсного тягового привода (МКТП) на транспортных средствах способствует увеличению объёма пассажироперевозок при повышении комфортности поездок [1,2]. Особенно актуально применение МКТП на безрельсовом городском электрическом транспорте – троллейбусах, так как его применение позволяет значительно понизить уровень пола в салоне.

При проектировании привода одной из основных является проблема выбора типа тягового двигателя по роду тока (постоянного или переменного). Преимущества последнего с позиций эксплуатационных свойств неоспоримы, поэтому применение двигателей переменного тока – перспективно. Вместе с тем, одной из важных задач при разработке мотор-колеса с тяговым двигателем переменного тока является задача определения оптимальной величины его мощности. Оптимизация может осуществляться по разным критериям: минимуму энергопотребления, динамическим показателям и т.д. Однако, вне всякого сомнения, одним из основных, если не самым главным, в борьбе за снижение транспортной составляющей времени в передвижениях пассажиров, является показатель динамичности транспортного средства. Повышению динамичности способствует, как известно, увеличение мощности тягового двигателя, которое не может быть беспредельным [3]. К тому же действующие требования обеспечения минимума комфортности перевозки пассажиров на троллейбусе ограничивают такие показатели динамичности, как ускорения при пуске и торможении ($a_{\text{пуск}}$ и $a_{\text{торм}}$) и скорость нарастания ускорения a' .

Эксплуатируемые в настоящее время троллейбусы с двигателями постоянного тока отвечают предъявляемым требованиям и поэтому их показатели могут использоваться в качестве базовых для расчета мощности тягового двигателя переменного тока МКТП.

Приступая к расчёту мощности тягового электродвигателя необходимо учитывать особенности режима его работы, который предполагает частые пуски и торможения при форсировании мощности в процессе разгона подвижного состава. Для двигателей постоянного тока коэффициент перегрузки двигателя при пуске $k_{\text{пер}} \approx 1,8-2,0$ что объясняется допустимой по условиям коммутации перегрузочной способностью коллектора. Таким образом, на некотором интервале времени пуска происходит практически удвоение мощности двигателя по сравнению с номинальной (длительной). Вместе с тем, развиваемая при пуске двигателем мощность, а, следовательно, и тяговое усилие, определяющее величину ускорения – непостоянна. Приведённые на рисунке 1а качественные кривые ускорения подвижного состава и мощности тягового двигателя при пуске двигателя постоянного тока последовательного возбуждения дают представление о характере их изменения. Конфигурация кривых обусловлена электромеханическими характеристиками двигателя, приведёнными на рисунке 1б.

В соответствии с приведёнными кривыми максимальная мощность двигателя соответствует точке выхода на автоматическую характеристику полного поля ($v_{\text{нп}}$), которая для троллейбусов, оснащённых приводами с такими двигателями, лежит в пределах 16-18 км/ч.

Применение в качестве тяговых двигателей переменного тока (например, асинхронных с короткозамкнутым ротором), характеристики которых приведены на рисунке 1в не должно ухудшать динамических показателей троллейбуса. Поэтому при определении величины их мощности необходимо учесть, что:

– максимальное её значение будет достигнуто, как и у двигателя постоянного тока, при выходе на автоматическую характеристику;

– работа по преодолению сил сопротивления движению при пуске троллейбуса определяется некоторой средней величиной мощности тягового двигателя (а, следовательно, и средним за время пуска ускорением);

– целесообразно ограничить скорость выхода на характеристику величиной 60 км/ч (согласно «Правилам дорожного движения»);

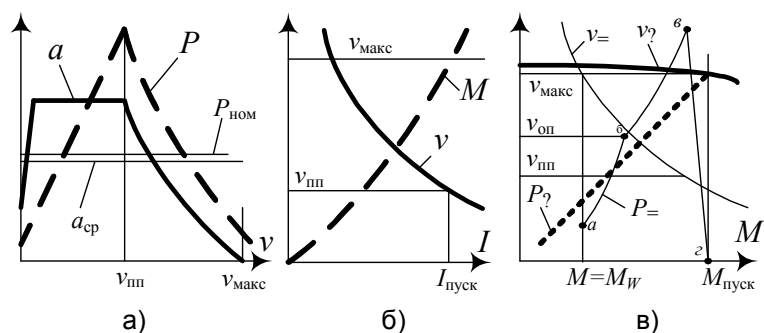


Рисунок 1 – Энергетические и электромеханические характеристики электродвигателей

– двигатель переменного тока обладает несколько большей перегрузочной способностью по току в момент пуска.

На рисунке 1в нанесены кривые развиваемых двигателями переменного и постоянного тока в процессе пуска мощностей P_{\sim} и $P_{=}$, последняя из которых образует ломаную а-б-в-г. Точки перегиба кривой соответствуют характерным скоростным режимам: точка а – максимальной скорости подвижного состава, при которой тяговое усилие полностью компенсируется силами сопротивления движению; б – скорости v_{on} выхода на характеристику максимального ослабления поля при пусковом токе якоря двигателя; в – скорости v_{nn} выхода на характеристику полного поля при пусковом токе якоря двигателя.

Различие электромеханических характеристик двигателей позволяет кардинально изменить характер кривых движения (рисунок 2). Кривая движения для привода с двигателем постоянного тока 0-в-г-д- $t_{пер}$ соответствует характеристикам рисунка 1а при $a_{пуск} = [a_{доп}] = 1,5 \text{ м/с}^2$ (согласно действующим ограничениям). При движении по перегону в течение времени $t_{пер}$ подвижной состав, достигнув скорости $v_{макс}$ развивает некоторую среднюю скорость $v_{ср}$, обеспечивая тем самым предельную интенсивность движения. Замена двигателя постоянного тока на асинхронный позволяет поддерживать допустимую величину пускового ускорения вплоть до $v_{макс}$, что позволяет реализовать при той же скорости сообщения $v_{ср}$ кривую 0-а-б-д- $t_{пер}$. Однако величина мощности двигателя переменного тока при этом существенно выше мощности двигателя постоянного тока (см. рисунок 1в).

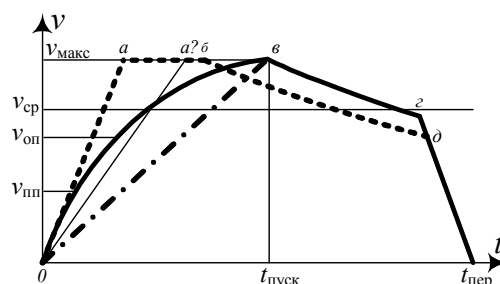


Рисунок 2 – Кривые движения

Уменьшения мощности двигателя можно достичь снижением величины пускового ускорения, что отражается на кривой движения уменьшением угла наклона прямой 0-а. При равенстве мощностей двигателей кривая движения для асинхронного двигателя преобразуется в кривую 0-а'-в-г-д- $t_{пер}$, отражающей пуск с ускорением $a_{ср}$ (см. рисунок 1а).

Минимально допустимой мощности асинхронного двигателя соответствует кривая движения 0-в-г-д- $t_{пер}$, в которой разгон до $v_{макс}$ осуществляется по прямой 0-в (см. рисунок 2). Однако величина $v_{ср}$ при этом снижается.

Переход от обычной схемы тягового привода к МКТП позволяет помимо понижения уровня пола троллейбуса уменьшить и величину мощности двигателя. Действительно, поскольку

$$P = Fv = Fv_{макс} = ma_{пуск}\omega_k R_k,$$

где F – тяговое усилие на ободу колеса;

m – приведённая масса подвижного состава;

ω_k – угловая скорость вращения колеса (при безредукторном мотор-колесе $\omega_k = \omega_{дв}$);

R_k – радиус колеса,

то уменьшение радиуса колеса ведёт к уменьшению мощности двигателя.

С учётом изложенного расчётная формула для определения номинальной мощности тягового двигателя МКТП имеет вид

$$P = \frac{ma_{пуск}\omega_{дв}R_k}{n_{дв}},$$

где $n_{дв}$ – количество мотор-колёс троллейбуса.

При анализе последнего выражения выясняется, что вторым путём понижения уровня пола салона при расчётной мощности тягового двигателя переменного тока является подбор величины радиуса колеса при сохранении условия $\omega_{дв}P_k = \text{Const}$. Действительно, применение в процессе пуска двигателя повышенной частоты работы инвертора приводит к увеличению $\omega_{дв}$, а, следовательно, и к возможности уменьшения радиуса колеса, что влечёт за собой понижение уровня пола.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сочлененный троллейбус с мотор-колесным (МК) тяговым приводом / В.П. Ожигин, Н.Е. Ершов, В.В. Бирюков, А.М. Севостьянов // Тр. МЭИ. -М., 1976. -Вып.302. -С. 43-45.

2 Ожигин, В.П. О низкопольном подвижном составе городского безрельсового пассажирского транспорта / В.П. Ожигин, Н.Е. Ершов, В.В. Бирюков // Наука и техника в городском хозяйстве: труды / НИКТИ ГХ МКХ УССР. -Киев, 1978. -Вып.36. -С. 72-76.

3 Бирюков, В.В. К расчету мощности тягового двигателя подвижного состава / В.В. Бирюков, Г.Н. Ворфоломеев, А.П. Вертохвостов // Транспортные проблемы Сибири: материалы II Всерос. науч.-техн. конф. 24-25 нояб. 2005 г., Красноярск / под ред. В.Н. Катаргина. - Красноярск, 2005. -С. 18-20.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: троллейбус, мотор-колёсный тяговый привод, двигатель переменного тока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Щуров Николай Иванович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»

Головин Александр Михайлович, канд. техн. наук, директор КБ ГОУ ВПО «НГТУ»

Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, Д.С. Кобычев

INFLUENCE VOLTAGES FROM RAILWAY CONTACT NET ALTERNATING CURRENTS WITH HARMONIC DISTORTION

«Irkutsk transport state university»

A.V. Kryukov, V.P. Zakaryukin, D.S. Kobichev

There is the method of calculations of influence voltages on transmission lines from nearby railway with alternating current electric traction. This method allows abiding by the harmonic distortion current.

Разработана методика определения наведенных напряжений на смежные линии электропередачи, позволяющая учитывать несинусоидальность токов, протекающих в контактной сети железных дорог переменного тока.

Линии электропередачи (ЛЭП) напряжением 6-10-35 кВ, проходящие вдоль трасс железных дорог переменного тока, подвержены электрическому и магнитному влияниям контактной сети (КС) [1]. Вследствие этого возможно появление опасных напряжений на отключенных ЛЭП даже при значительной их удаленности от КС. Так как наводимое напряжение магнитного влияния пропорционально частоте влияющего тока, возможно существенное возрастание уровня наведенных напряжений на отключенных линиях 6-10-35 кВ из-за наличия в КС значительного уровня высших гармоник (ВГ)

тока. Методика определения наведенных напряжений с учетом ВГ предложена в работе [2]. В настоящей статье основное внимание уделено влиянию конструктивного исполнения системы тягового электроснабжения (СТЭ) и способа заземления отключенной ЛЭП на уровень наведенных напряжений от ВГ. С этой целью проанализирована широко распространенная СТЭ 1×25 с экранирующими (ЭП) и усиливающими проводами (УП).

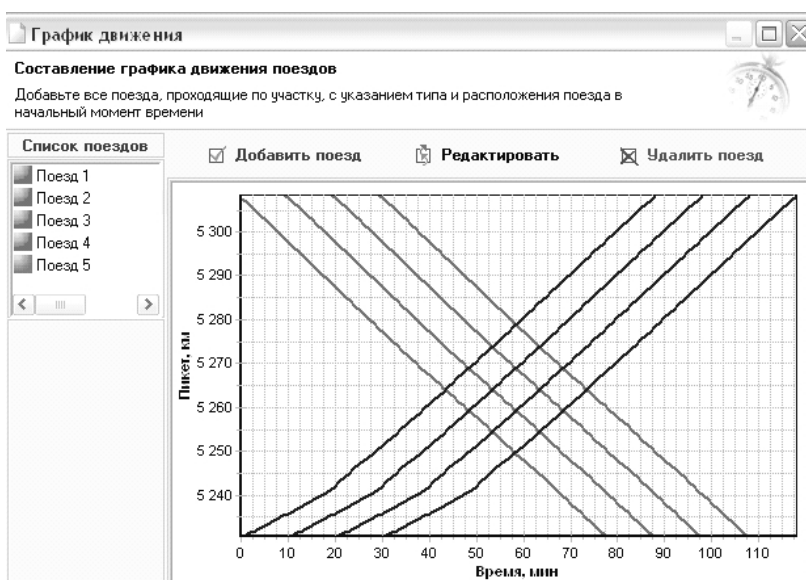


Рисунок 1 – Моделируемый график движения

Моделирование осуществлялось применительно к межподстанционной зоне однопутного участка железной дороги длиной 26 км. Расстояние от отключенной и незаземленной линии электропередачи такой же длины, подверженной влиянию, принималось равным 300 м. Удельная проводимость земли задавалась равной 0,01 См/м. Моделирование осуществлялось на основе комплекса программ «Fazonord-Качество», разработанного в ИРГУПСе [3]. В соответствии с рекомендациями статьи [4], рассматривалось три ситуации, не предусмотренные правилами [5], но возможные в практике эксплуатации:

- незаземленная ЛЭП;
- одностороннее заземление ЛЭП;
- двухстороннее заземление ЛЭП.

Первая ситуация может возникнуть в промежуточном этапе процесса вывода ЛЭП в ремонт, когда ошибочно или случайно снимается переносное заземление (ПЗ) на рабочем месте. Вторая ситуация может иметь место в процессе оперативных переключений по выводу ЛЭП в ремонт при возникновении неисправности в заземляющем устройстве на одном из концов ЛЭП. Третья ситуация может появиться на заземленной с двух концов ЛЭП до установки ПЗ или сразу же после его снятия [4]. Для первой и второй ситуаций наведенное напряжение определялось в конце ЛЭП, а для третьей – в середине линии. Моделировалось движение 4 четных поездов массой 6000 т и 4 нечетных поездов массой 4000 т. График движения представлен на рисунке 1.

Результаты определения наведенных напряжений в зависимости от времени моделирования представлены на рисунках 2-4. Из приведенных рисунков видно, что за счет высших гармоник может наводиться напряжение $U_{ВГ}^{(\text{ЭФ})} = \sqrt{U_3^2 + U_5^2 + U_7^2 + U_9^2 + U_{11}^2}$, существенное превышающее допустимое значение в 25 В [5] даже при значительной ширине сближения 300 м.

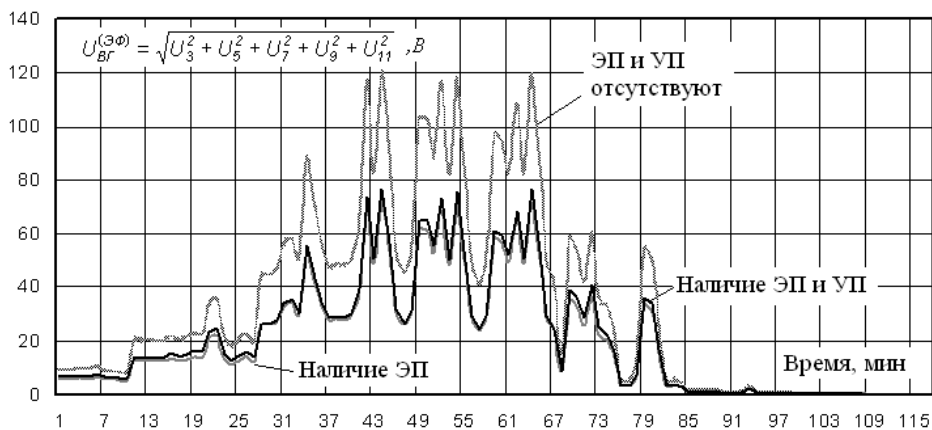


Рисунок 2 – Динамика изменения наведенных напряжений на незаземленной ЛЭП

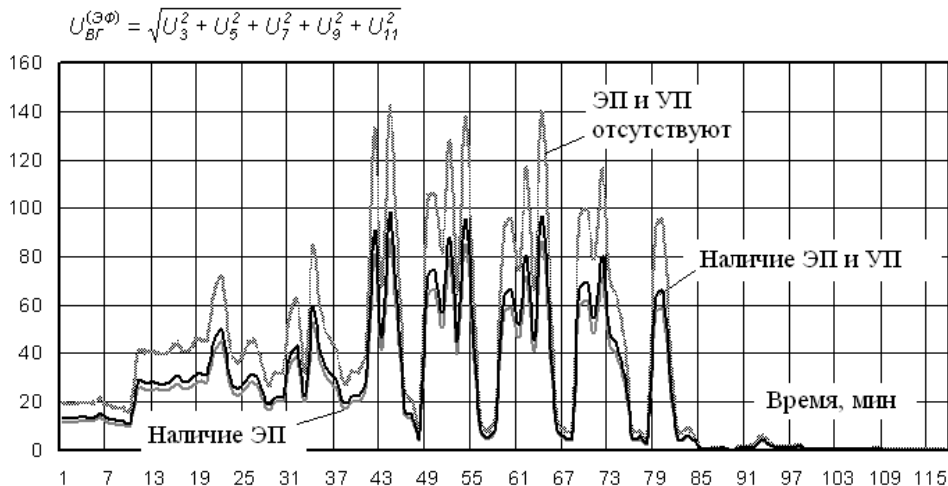


Рисунок 3 – Динамика изменения наведенных напряжений на ЛЭП, заземленной с одной стороны

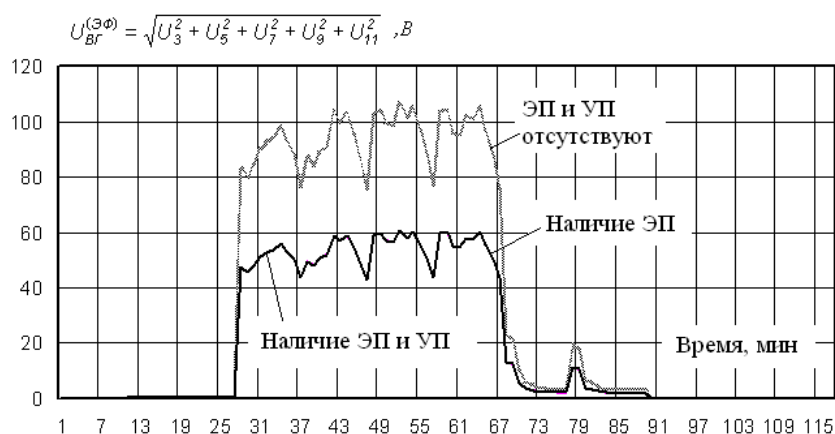


Рисунок 4 – Динамика изменения наведенных напряжений на ЛЭП, заземленной с двух сторон

Уровень наведенных напряжений зависит от конструктивного исполнения СТЭ. Экранирующий провод снижает уровень наведенных напряжений на 30-35%. Наличие усиливающего провода практически не сказывается на величине $U_{BF}^{(\Delta\phi)}$. Наибольшая величина наведенного напряжения $U_{BF}^{(\Delta\phi)}$, достигающая 140 В, имеет место для ЛЭП, заземленной с одной стороны. В случае незаземленной ЛЭП, подверженной влиянию, этот параметр равен 120 В. Если ЛЭП заземлена с двух сторон, то уровень наведенных ВГ напряжений снижается до 105 В, но в этом случае четырехкратно превышает допустимое значение.

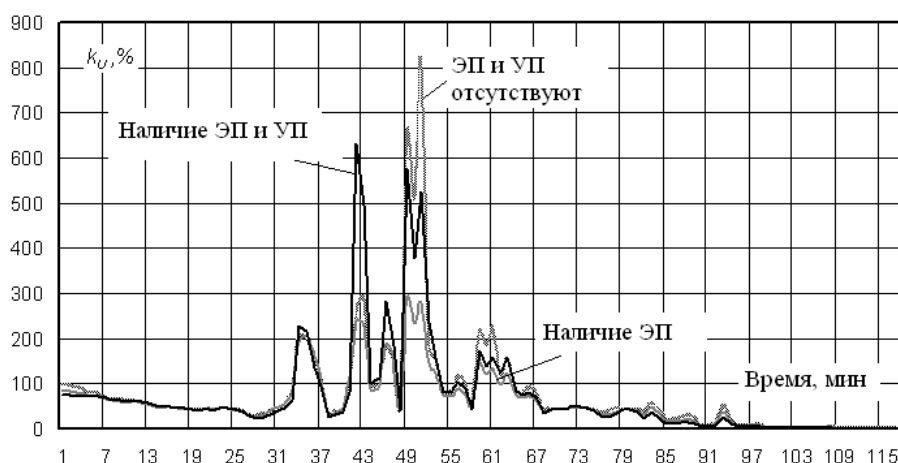


Рисунок 5 – Динамика изменения коэффициента искажения синусоидальности для незаземленной ЛЭП

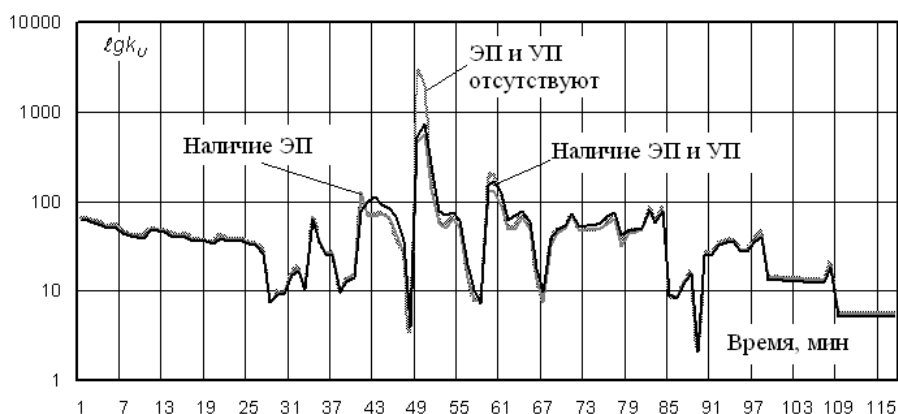


Рисунок 6 – Динамика изменения коэффициента искажения синусоидальности для ЛЭП, заземленной с одной стороны

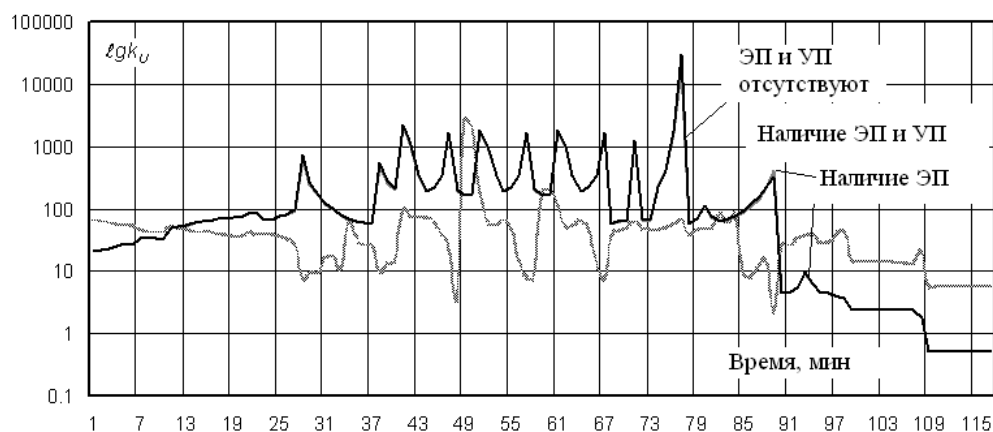


Рисунок 7 – Динамика изменения коэффициента искажения синусоидальности для ЛЭП, заземленной с двух сторон

Наведенное напряжение на отключенной ЛЭП имеет резко несинусоидальный характер. Графики изменения коэффициента искажения синусоидальности k_U представлены на рисунках 5-7. Наиболее интенсивные искажения имеют место при наличии заземлений, что привело к необходимости использовать при построении графиков логарифмический масштаб (рисунки 6 и 7).

Возможность наведения напряжений до 140 В за счет токов ВГ необходимо учитывать при разработке руководящих материалов по обеспечению безопасности работ на отключенных ЛЭП, находящихся в зоне электромагнитного влияния контактной сети железных дорог переменного тока. Следует отметить, что уровень наведенных напряжений может быть еще больше при увеличении размеров движения.

Из анализа полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1 При расположении отключенной ЛЭП на расстоянии 300 м от контактной сети наведенное напряжение, вызванное высшими гармониками, может достигать опасных величин, в 4-5 раз превышающих допустимое правилами [5] значение. Уровень наведенного напряжения зависит от конструктивного исполнения системы тягового электроснабжения. Экранирующий провод снижает уровень наведенного напряжения на 30-35%. Наличие усиливающего провода практически не сказывается на величине $U_{ВГ}^{(\infty)}$.

2 Наибольшая величина наведенного напряжения $U_{ВГ}^{(\infty)}$, достигающая 140 В, имеет место для ЛЭП, заземленной с одной стороны. В случае незаземленной ЛЭП, подверженной влиянию, этот параметр равен 120 В. Если ЛЭП заземлена с двух сторон, то уровень наведенных ВГ напряжений снижается до 105 В.

3 Наведенное напряжение в смежной линии электропередачи имеет резко несинусоидальный характер; коэффициент несинусоидальности может достигать тысяч процентов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость: учеб. для вузов железнодорож. трансп. / М.П. Бадер. -М.: УМК МПС, 2002. -638 с.

2 Крюков, А.В. Моделирование электромагнитных влияний контактной сети на смежные линии электропередачи с учетом высших гармоник / А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, Д.С. Кобычев // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2009. -№3(23). -С. 132-136.

3 Расчеты показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения в фазных координатах с учетом движения поездов : а.с. №2007612771 Рос. Федерация / В.П. Закарюкин, А.В. Крюков; Федер. служба по интеллект. собственности, патентам и товар. знакам. -зарегистр. 28.06.2007.

4 Мисриханов, М.Ш. Анализ причин несчастных случаев и мер защиты от наведенного напряжения на воздушных линиях электропередачи / М.Ш. Мисриханов, А.О. Мирзаабдулаев // Электрич. станции. -2008. -№11. -С. 44-49.

5 Межотраслевые правила по охране труда (правила безопасности) при эксплуатации

электроустановок. -М.: НЦ ЭНАС, 2001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системы тягового электроснабжения, наведенные напряжения на смежные ЛЭП, высшие гармоники

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Крюков Андрей Васильевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
Закарюкин Василий Пантелеймонович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Кобычев Дмитрий Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ЕЁ СВОЙСТВА ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ

ОАО «Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения

Ф.Л. Бык

POWER INDUSTRY RELIABILITY AS A MANIFESTATION OF ITS EMERGENT PROPERTY

«Scientific research institute on transfer of the electric power by a high voltage direct current»

F.L. Byk

Conception of «system reliability» is offered. The concept conforms to the sociotechnical character of power industry and has three following aspects: techno-technological, economic-organizing and sociopsychological.

Предложено понятие «системная надёжность», соответствующее социотехническому характеру электроэнергетики и имеющее три аспекта: технико-технологический, организационно-экономический и социо-психологический.

Происходящее реформирование электроэнергетики с разделением её на совокупность самостоятельных генерирующих, сетевых, сбытовых компаний в плане обеспечения надёжного электроснабжения создает проблемную ситуацию. Проблемность обусловливается тем, что надёжность электроснабжения является системным интегральным свойством, которое определяется не только надёжностью работы генерирующих, сетевых и других энергокомпаний, но и характером их экономических и технологических взаимодействий, а также системой действующего управления и различными дополнительными общесистемными средствами повышения надёжности (автоматическое регулирование частоты и мощности, противоаварийная автоматика и др.).

Другими словами, надёжность электроснабжения является системным свойством, не сводящимся только к проявлению свойств надёжности генерации, передачи и распределения электроэнергии, то есть является проявлением свойства эмерджентности электроэнергетики.

Суть проблемности электроснабжения – в зависимости его надёжности не только от оборудования, систем технической эксплуатации, но и от других свойств электроэнергетики. Раскрытие этой сути целесообразно начать с формирования понятия «системная надёжность электроэнергетики» и выявления путей её обеспечения.

До последнего времени общепринятым остается понимание – повышение надежности означает снижение негативных последствий от снижения качества и объемов электроснабжения, к которым приводят или могут привести аварии. Причинами аварий являются не только внешние воздействия и возмущения, но и внутренние нарушения технологических регламентов, отказы и сбои, в том числе систем управления и регулирования.

В рамках этой парадигмы ставились и решались задачи определения экономически обоснованного уровня надежности и вырабатывались технические решения по его обеспечению за счет создания и поддержания соответствующих запасов и резервов, а также системы управления.

В основе такого понимания надежности лежит представление об электроэнергетике как о вертикально интегрированной *производственной* системе. Продукцией является электроэнергия, доставляемая потребителю. Основной спецификой является отсутствие эффективной возможности долгосрочного аккумулирования электричества. Основная трудность – поддержание требуемого качества электроэнергии, то есть поддержание технологического процесса в соответствии с законами электродинамики.

Реформирование электроэнергетики меняет ситуацию.

Во-первых, в зависимости от организации электроэнергетики, установленных отноше-

ний и связей производственную деятельность можно квалифицировать либо как производство товара и оказание услуг на его доставку, либо как работу, направленную на электрификацию территорий, то есть на использование электричества взамен других видов энергии.

С этих позиций понятие «системная надежность» можно рассматривать как свойство электроэнергетики обеспечить требуемое качество конечного товара (электроэнергии) или как требуемое качество выполненной работы (электрофикации). Очевидно, что качество товара и качество работы оценивается различным образом, обеспечивается различными способами. Поэтому и возникает проблема – о каком свойстве идет речь, когда говорят или пишут о системной надежности электроэнергетики.

Во-вторых, в новых условиях электроэнергетика трансформируется из производственной в социотехническую систему. Представление об электроэнергетике как о социотехнической системе трансформирует проблему надежности электроснабжения. В этом ракурсе надежность определяется отношениями, формируемыми в технико-технологической, организационно-экономической, социо-психологической подсистемах.

Понятие «системная надежность», соответствующее социотехническому характеру электроэнергетики, имеет три аспекта.

В **технико-технологическом** (ТТ) аспекте – *свойство системы* производственных и иных имущественных объектов электроэнергетики, связанных единым процессом производства и передачи электрической энергии в условиях централизованного оперативно-диспетчерского управления в электроэнергетике, *производить и доставлять электроэнергию её потребителям* в заданном объеме и требуемого качества при определенных условиях функционирования.

В **организационно-экономическом** (ОЭ) аспекте – *свойство системы* отношений и взаимосвязей субъектов электроэнергетики и потребителей, позволяющее *обеспечить баланс экономических интересов* при соблюдении ограничений по экологической и технологической безопасности электроэнергетики.

В **социо-психологическом** (СП) аспекте системная надежность – *свойство системы* образов и характеристик, позволяющих создавать и поддерживать привлекательный имидж электроэнергетики, то есть формировать определенное отношение к ней в обществе, позволяющее *обеспечить поступление в электроэнергетику ресурсов*, необходимых для ее функционирования и развития.

При таком понимании системной надежности энергосистем, она обеспечивается различными средствами, начиная от создания и использования в этих целях собственных запасов и резервов до активного привлечения средств массовой информации и иных способов психологического воздействия на массовое сознание.

С позиций ТТ-аспекта основными и достаточно дорогостоящими средствами обеспечения системной надежности являются системные резервы и запасы.

Очевидно, что ТТ-надежность энергосистемы формируются исходя из требований, в основе которых лежат принятые нормативы, которые в свою очередь должны быть экономически обоснованы. В конечном итоге все это определит затраты, связанные с электроснабжением в нормальных и аварийных режимах. Очевидно, что эти затраты найдут свое отражение в тарифе и цене на электроэнергию, размер которых и формирует отношение к ней не только со стороны потребителей, но и инвесторов.

Определение направляемых на обеспечение ТТ-надежности средств, распределение их между субъектами, организация взаимоотношений между ними и является предметом организационно-экономического аспекта системной надежности. Надежность в этом случае используется для оценки эффективности работы организационно-экономической подсистемы.

Как показал опыт, снижение текущих издержек и затрат, прежде всего можно наблюдать за счет сокращения запасов и резервов. Это позволяет сохранить относительную стабильность стоимости электроэнергии, обеспечить эффективность капиталовложений и, следовательно, инвестиционную привлекательность электроэнергетики.

Однако понимание последствий от снижения ТТ-надежности, потребовало выделение определенных средств на обеспечение надлежащей ОЭ-надежности. Это привело к разработке и внедрению соответствующих экономических механизмов. К этим механизмам относятся рынок мощности, рынок дополнительных системных услуг, ценовые льготы на мощность электропотребления, направленные на уплотнение графика нагрузки, дотации за освоение резервных генерирующих мощностей на возобновляемых энергоисточниках, стимулирование энергосбережения и энергоэффективности и многие другие.

В основе всех этих механизмов, с позиций надежности, лежит подход в распределении рисков между производителями, потребителями электроэнергии и инфраструктурой, обеспечивающей ее доставку и управление режимами. Естественно все эти риски и связанные с ними экономические и технические последствия находят свое отражение в организационной структуре, правилах торговли, договорах и прочих документах. Фактически речь идет о надежности работы этих рыночных механизмов в рамках организационных структур.

Большую роль в обеспечении СП-надежности (социо-психологический аспект системной надежности) играет открытость энергетических компаний, их информационная прозрачность, публичность принятых в ней правил, лежащих в основе построения взаимоотношений с партнерами, акционерами, кредиторами и инвесторами. Однако опыт ряда компаний показал, что действия направленные на формирование инвестиционной привлекательности могут сочетать демонстрацию, как реальных свойств СП-надежности, так и несуществующих, приписываемых. Это оборачивается потерей имиджа и как результат возникают негативные последствия, проявляющиеся в ограничениях доступа к ресурсам, находящимся в руках общества и государства. А без этого становится невозможным повышение надежности энергосистем.

Повышение надежности энергосистем реально осуществляется не только и не столько на объектах, а на советах директоров субъектов электроэнергетики, где комплексно решаются основные вопросы надежности. Определяя направления:

- технической политики – формируют мероприятия по поддержке нормативной технической надежности;
- экономической политики – устанавливают порядок эффективного использования средств для обеспечения надежности;
- стратегического развития – определяют объем ресурсов, необходимых для повышения надежности.

Заключение. Существующее (гостовское) определение надёжности, базирующееся на понятиях «изделие», «объект», становится недостаточным для решения задач надёжности электроэнергетики в силу того, что она являлась, во-первых, производственной системой, во-вторых, превращается в социотехническую систему.

Предлагается определение «системной надёжности электроэнергетики», соответствующее преобразованию её в социотехническую систему, которое существенно расширяет средства обеспечения надёжности.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системная надежность электроэнергетики, социотехнический характер электроэнергетики, средства обеспечения надежности

СВЕЖЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бык Феликс Леонидович, канд. техн. наук, зам. генерального директора ОАО «НИИПТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 194223, г Санкт-Петербург, ул. Курчатова, 1, лит А, ОАО «НИИПТ»

УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СВЕТИЛЬНИКОВ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.Н. Краснокуцкий

MANAGEMENT OF POWER SUPPLIES OF FIXTURES OF EXTERNAL ILLUMINATION OF RAILWAY STATIONS

«Omsk state transport university»

I.N. Krasnokutsky

In work, questions of construction of the distributed control system by power supplies of fixtures of external illumination with use of methods of indistinct logic are considered. The most difficult stages of practical realisation of algorithm of decision-making on a necessary mode of inclusion of power supplies of fixtures are presented.

Рассмотрены вопросы построения распределенной системы управления электропитанием светильников наружного освещения с использованием методов нечеткой логики. Представлены наиболее сложные этапы практической реализации алгоритма принятия решения о необходимом режиме включения электропитания светильников.

Управления электропитанием светильников наружного освещения железнодорожных станций связано с обеспечением безопасности движения поездов, обслуживающего персонала и пассажиров. С использованием системы автоматизированного диспетчерского управления наружным освещением появляется возможность оперативного управления освещением, отслеживания неисправностей в режиме реального времени, анализа произо-

шедших в системе освещения аварий. Типовая структурная схема АСУ наружным освещением в общем виде представлена на рисунке 1 [1]. В качестве источников информации о параметрах системы управления освещением и состоянии необходимых параметров окружающей среды используются измерительные преобразователи и датчики. Датчик освещенности предназначен для измерения уровня естественной освещенности, в его качестве можно использовать любой светочувствительный элемент. Датчики электрических параметров получают информацию о значениях напряжения, тока, потребляемой мощности в каждой фазе, об обрывах и замыканиях в питающих сетях. Датчик ручного управления определяет информацию о переходе контроллера в местный режим управления, если он необходим при выполнении ремонтных работ на линии и при этом управление с ПК блокируется.

Информация от датчиков поступает на контроллер К, в памяти которого содержится расписание режимов работы, поэтому при пропадании связи с центральным постом, обеспечивается автономный режим работы системы освещения. Персональный компьютер ПК задает режимы работы системы освещения, собирает и хранит информацию об ее функционировании.

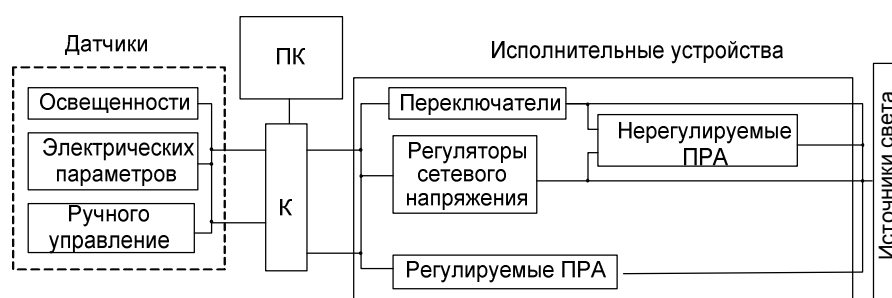


Рисунок 1 – Структурная схема АСУ наружным освещением: К-контроллер; ПК-персональный компьютер; ПРА-пускорегулирующая аппаратура

После обработки полученных с датчиков данных контроллер вырабатывает управляющие воздействия на исполнительные устройства. Переключатели предназначены для полного или частичного включения или отключения ламповой нагрузки от сети, регуляторы сетевого напряжения – для плавного или дискретного регулирования светового потока источников света. В зависимости от используемых источников света питающее напряжение может подаваться как непосредственно на них, так и через нерегулируемую пускорегулирующую аппаратуру (ПРА). Принцип действия регулируемых ПРА основан на изменении их внутреннего сопротивления, поэтому использование такой аппаратуры позволяет отказаться от регуляторов сетевого напряжения и нерегулируемой ПРА [1].

Среди методов обработки информации в настоящее время широко используются методы интеллектуализации измерений. Среди них следует отметить методы нечеткой логики, аппарат нейронных сетей, генетические алгоритмы и экспертные системы [2]. Кроме того, процесс изменения естественной (солнечной) освещенности является случайным и не описывается строгими математическими выражениями. Задачу принятия решения о режиме включения наружного освещения целесообразно решать с использованием схемы нечеткого логического вывода [3]. При этом формируются логические переменные: входные (естественная освещенность и время суток) и выходные (мощность включения). По результатам экспериментальных исследований измеренных значений естественной освещенности определены лингвистические переменные, функции принадлежности и их связь с численными значениями входных и выходных величин. Результаты исследований приведены в таблице 1. С учетом проведенных экспериментальных исследований один из вариантов базы правил представлен в таблице 2.

Алгоритм управления наружным освещением осуществляется по методу Мамдани [2]. В качестве дефаззификации или приведения к четкости применяется метод наибольшего (правового) модального значения

$$P_{\text{вкл}} = \max \{ P_{\text{вклт}} \}, \quad (1)$$

где $P_{\text{вклт}}$ – модальное значение (мода) нечеткого множества для выходной переменной $P_{\text{вкл}}$ после этапа аккумуляции.

Результаты моделирования логического вывода в среде MATLAB [2, 4] с экспериментальными замерами естественной освещенности представлены на рисунке 2.

После внедрения фотометрического датчика диспетчер может оперативно отслеживать изменение погодных условий. Также возможно использование алгоритмов принятия решения о необходимом режиме включения электропитания светильников освещения на основе

Таблица 1 – Лингвистические переменные и их функции принадлежности

№	Функция принадлежности	Лингвистическая переменная	Зависимость
1	Время суток, t_s	ночь	
2		утро	
3		день	
4		вечер	
5	Освещенность, E	нулевая	
6		очень низкая	
7		низкая	
8		средняя	
9		высокая	
10	Выходная мощность, $P_{вкл}$	нулевая	
11		очень низкая	
12		низкая	
13		средняя	
14		высокая	

Таблица 2 – Продукционные правила по времени суток

Освещенность	Утро	День	Вечер	Ночь
Нулевая	высокая	высокая	высокая	высокая
Очень низкая	средняя	средняя	средняя	средняя
Низкая	низкая	низкая	низкая	низкая
Средняя	очень низкая	очень низкая	очень низкая	очень низкая
Высокая	нулевая	нулевая	нулевая	нулевая

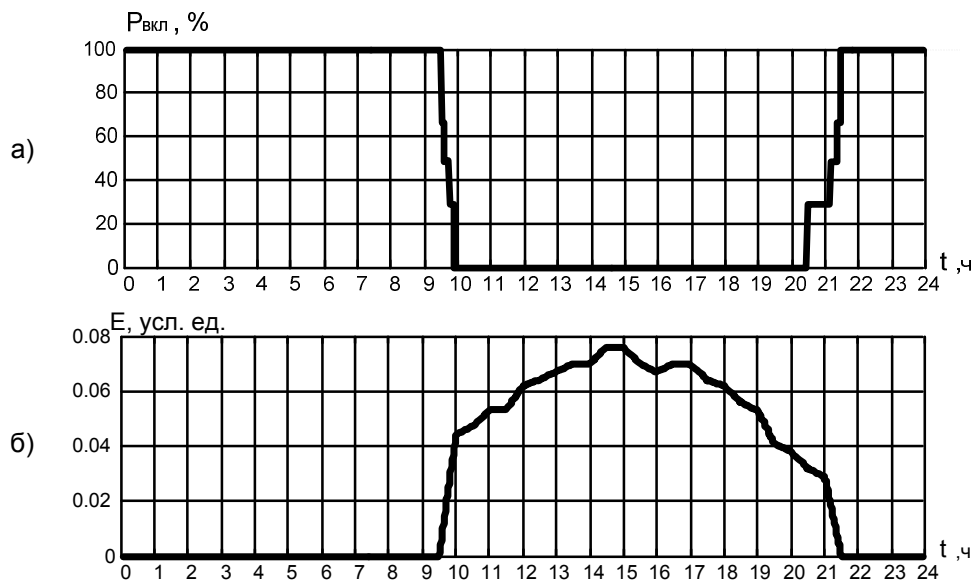


Рисунок 2 – Результаты моделирования алгоритма управления наружным освещением: а)-выход управляющего сигнала на питающий пункт с фаззи контроллера; б)-график изменения естественной (солнечной) освещенности

нечеткой логики, как в рекомендательной форме диспетчеру в виде сообщений, так и в автономном режиме.

Таким образом, в статье рассмотрено использование аппарата нечеткой логики в организации процесса управления электропитанием светильников наружного освещения железнодорожных станций. Рассмотрены наиболее сложные этапы практической реализации алгоритма принятия решения о необходимом режиме включения электропитания светильников.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. -М.: Знак, 2006. -972 с.
- 2 Рутковская, Д. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы / Д. Рутковская, М. Пилинский, Л. Рутковский. -М.: Горячая линия–Телеком, 2006. -452 с.
- 3 Леоненко, А. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTech / А. Леоненко. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. -736 с.
- 4 Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB / Ю. Лазарев. -СПб.: Питер; Киев: BHV, 2005. -512 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропитание, светильник, наружное освещение, железнодорожная станция, нечеткая логика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Краснокуцкий Иван Николаевич, соискатель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПУСКЕ ПОЕЗДА

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

**С.М. Кузнецов, И.С. Демиденко, М.В. Ярославцев,
А.В. Гашкова, А.О. Кривова**

MATHEMATICAL SIMULATION OF TRANSIENT PROCESSES IN DIRECT CURRENT TRACTION CIRCUITS DURING START OF A TRAIN

«Novosibirsk state technical university»

S.M. Kuznetsov, I.S. Demidenko, M.V. Yaroslavtsev, A.V. Gashkova, A.O. Krivova

The article contains results of mathematical simulation of current leaps during start of a train, to specify settings of current protection and increase its selectivity and reliability.

Приведены результаты исследования скачков тока при пуске электровоза с целью корректировки уставки защит и повышения их селективности и надежности.

При функционировании системы тяговая подстанция-тяговая сеть-электроподвижной состав (ТП-ТС-ЭПС) часто возникают отказы её отдельных элементов, вызванные внешними воздействиями, ошибками персонала, износом её отдельных элементов, которые сопровождаются короткими замыканиями (КЗ). Последние вызывают протекание токов, величина которых при КЗ вблизи ТП может составить 50-80 кА и превосходить длительно допустимые токи нагрузки или быть соизмеримой с максимальным током нагрузки 2-6 кА при КЗ у шин соседней подстанции. Поэтому защита – это наиболее широко распространенный вид автоматики, во многом определяющий возможность функционирования системы ТП-ТС-ЭПС и обеспечивающий её надежность. Для тяговых сетей электрического транспорта, где невозможно резервирование, это особенно актуально.

В процессе эксплуатации необходимо рассчитывать уставки защит, под которыми понимается значение тока в цепи, вызывающее срабатывание её как релейного элемента. Для повышения надёжности в последние годы используют несколько признаков КЗ: абсолютную величину тока (аналог максимальной токовой защиты – МТЗ), скорость нарастания тока (di/dt), приращение тока (ΔI , то есть разность двух ближайших установившихся значений тока, в некоторых источниках их называют токово-импульсными, чтобы отличать от предыдущей) дистанционные, реагирующие на изменение величины сопротивления тяговой сети (Ud/Ik).

В реальной сети параметры признаков КЗ изменяются из-за влияния на величину и характер изменения тока полного сопротивления цепи КЗ, входного сопротивления подстанции; влияния нагрузки в тяговой сети; КЗ в разных точках схемы ЭПС.

Учёт этих факторов при расчете уставок практически затруднителен, поэтому до настоящего времени имеют место ложные срабатывания при заниженной уставке, либо отказы в срабатывании при завышенной уставке. Проблема расчёта уставок усугубляется, если защита реагирует на несколько признаков, например в защитах типа ЦЗАФ это абсолютная величина тока, скорость его нарастания, вычисляемая как приращение тока за 2 мс и длительность изменения тока. Производный от тока параметр (Ud/ik) – сопротивление определяется как значение в данный момент напряжения на шинах подстанции поделённое на мгновенное значение тока фидера, то есть величина также косвенно связанная с изменяющимися параметрами сети. То обстоятельство, что эти признаки КЗ напрямую связаны с параметрами ТС и ЭПС при расчёте уставки не учитывается. Поэтому при внедрении многопараметрических защит расчёт уставок является одной из наиболее важных и сложно осуществимых задач, многие факторы в которой выбраны априори, не все возможные режимы ведения поезда могут быть наблюдаемы экспериментально с подстанции или поста секционирования; кроме того, проведение подобных исследований требует длительного времени и специальное оборудование. По этим причинам не удаётся эффективно использовать существующие микропроцессорные защитные комплексы.

Одним из способов решения задачи расчёта уставок, лишенным перечисленных недостатков, является математическое моделирование переходных процессов в тяговой сети.

В ходе нормальной работы тяговой сети в ней осуществляются пуски поезда, переходы через секционные изоляторы токоприемников поездов, движущихся под током, вследствие чего происходит заряд емкости в заградительном фильтре, автоматического повторного включения (АПВ) отключающего фидера, повторные пуски после АПВ. Все перечисленные режимы называются стационарными, или квазиустановившимися. При этом в течение определенного времени в тяговой сети протекает переходный процесс (ПП). Для исследования ПП тяговую сеть заменяют схемой замещения, где распределенные параметры тяговой сети представлены эквивалентными, как для линии с сосредоточенными параметрами. В эксплуатации наблюдаются кратковременные отрывы токоприемника от контактной сети на нагрузку, для чего важно учитывать противоЭДС двигателя введением дополнительной ЭДС в схему замещения.

При рассмотрении переходного процесса в тяговой сети необходимо учитывать емкость и сглаживающего устройства, и помехоподавляющих емкостей. Во всех схемах замещения учитывают взаимную индуктивность проводников (контактный провод – рельсы). Для сравнения аварийного и нормального (квазиустановившегося) режимов работы тяговой сети необходимо исследовать изменение амплитуды и формы тока, выявить прямые и косвенные признаки и параметры переходного процесса, связанные с изменением режима работы системы ТП-ТС-ЭПС. Чем выше степень аппроксимации математической модели физических процессов в системе, тем ближе результаты исследований на модели к реальным параметрам процессов.

В работе проведено моделирование режима пуска поезда на постоянном токе. На железных дорогах, как правило, применяется схема электроснабжения с двусторонним питанием, а на тяговых подстанциях устанавливаются индуктивно-ёмкостные сглаживающие устройства. В этом случае схема замещения принимает вид, показанный на рисунке 1. Переходные процессы, происходящие в схеме, могут быть описаны системой дифференциальных уравнений (1).

Моделирование переходных процессов при повторном пуске выполнено в среде Simulink. На рисунках 2 и 3 приведены зависимости тока тяговых подстанций I_1 , I_2 и тока в цепи тяговых двигателей поезда I_n от

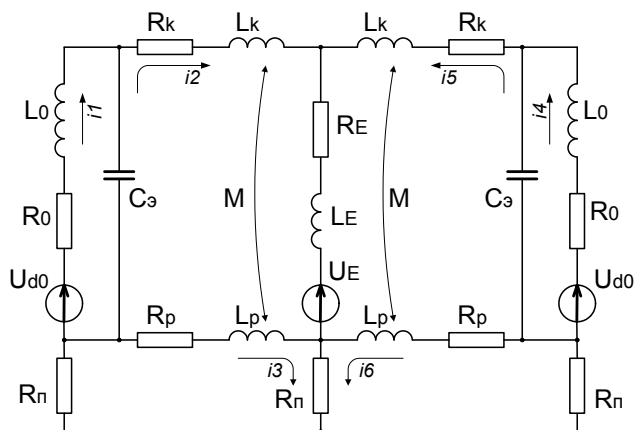


Рисунок 1 – Схема замещения тяговой сети

времени.

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{d0} = i_1 R_0 + L_0 \frac{di_1}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_0^t (i_1(t) - i_2(t)) dt; \\ -U_E = R_E (i_2 + i_5) + L_E \frac{d(i_2 + i_5)}{dt} + R_k i_2 + (L_k + M) \frac{di_2}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_0^t (i_2(t) - i_1(t)) dt + R_p (i_2 - i_3) + (L_p + M) \frac{d(i_2 - i_3)}{dt}; \\ 0 = i_3 R_n + (i_3 - i_2) R_p + (L_p + M) \frac{d(i_3 - i_2)}{dt} + R_n (i_3 + i_6); \\ U_{d0} = i_4 R_0 + L_0 \frac{di_4}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_0^t (i_4(t) - i_5(t)) dt; \\ -U_E = R_E (i_5 + i_2) + L_E \frac{d(i_5 + i_2)}{dt} + R_k i_5 + (L_k + M) \frac{di_5}{dt} + \frac{1}{C_3} \int_0^t (i_5(t) - i_4(t)) dt + R_p (i_5 - i_6) + (L_p + M) \frac{d(i_5 - i_6)}{dt}; \\ 0 = i_6 R_n + (i_6 - i_5) R_p + (L_p + M) \frac{d(i_6 - i_5)}{dt} + R_n (i_6 + i_3). \end{array} \right. \quad (1)$$

При переключении пусковых сопротивлений на электровозе в тяговой сети возникает колебательный переходный процесс. Различие между токами подстанций определяется различием расстояний от тяговой подстанции до поезда. По причине возникновения колебаний средняя скорость нарастания тока зависит от времени усреднения. Например, на рисунке 3 средняя скорость нарастания тока за период t_1 длительностью 0,005 с составляет 4 А/мс, а за период t_2 длительностью 0,1 с 1,2 А/мс.

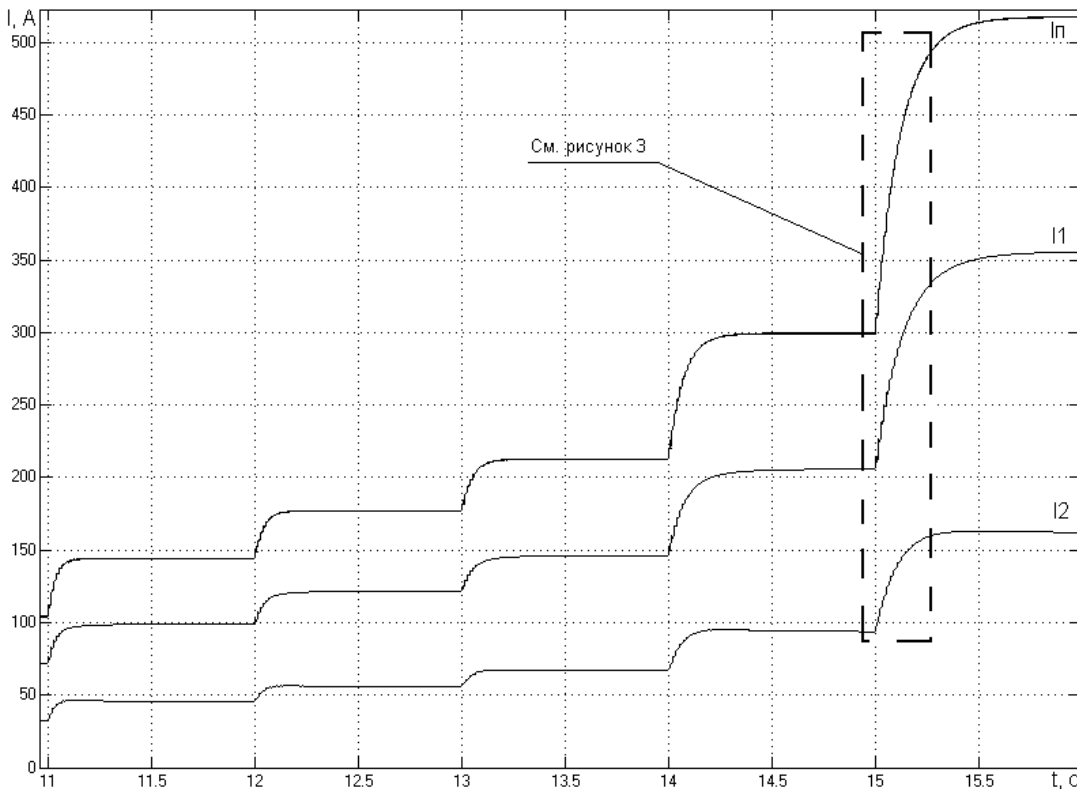


Рисунок 2 – Переходные процессы в тяговой сети при повторном пуске

Наибольшие приращения тока ΔI и скорости его нарастания di/dt имеют место в момент установки ослабления поля двигателей. Целесообразно определить их соизмеримость с аналогичными параметрами при коротком замыкании, для того чтобы правильно отстроить уставку защиты. Результаты моделирования показывают, что при пуске поезда максимальная скорость нарастания тока достигает 4 А/мс для электровоза ВЛ10 на расстоянии 5 км от подстанции. При коротких замыканиях этот параметр составляет 500–700 А/мс. Процесс короткого замыкания длится до 20 мс. Если рассмотреть переходный процесс в удаленной точке (на рисунке 1 это 15 км), то скорость нарастания тока при пуске снижается до 2 А/мс, а при коротком замыкании на этом же расстоянии, в зависимости от параметров сети, в неблагоприятных условиях может снижаться до 100 А/мс. Таким образом, скорость нарастания

тока может быть признаком КЗ, индивидуальным для каждой фидерной зоны. Приращение тока ΔI также пропорционально расстоянию до тяговой подстанции и при коротком замыкании на землю эта величина становится соизмерима с режимом пуска. Электропоезда, сдвоенные поезда дают в несколько раз большие скачки тока, что приводит к ложным срабатываниям защиты.

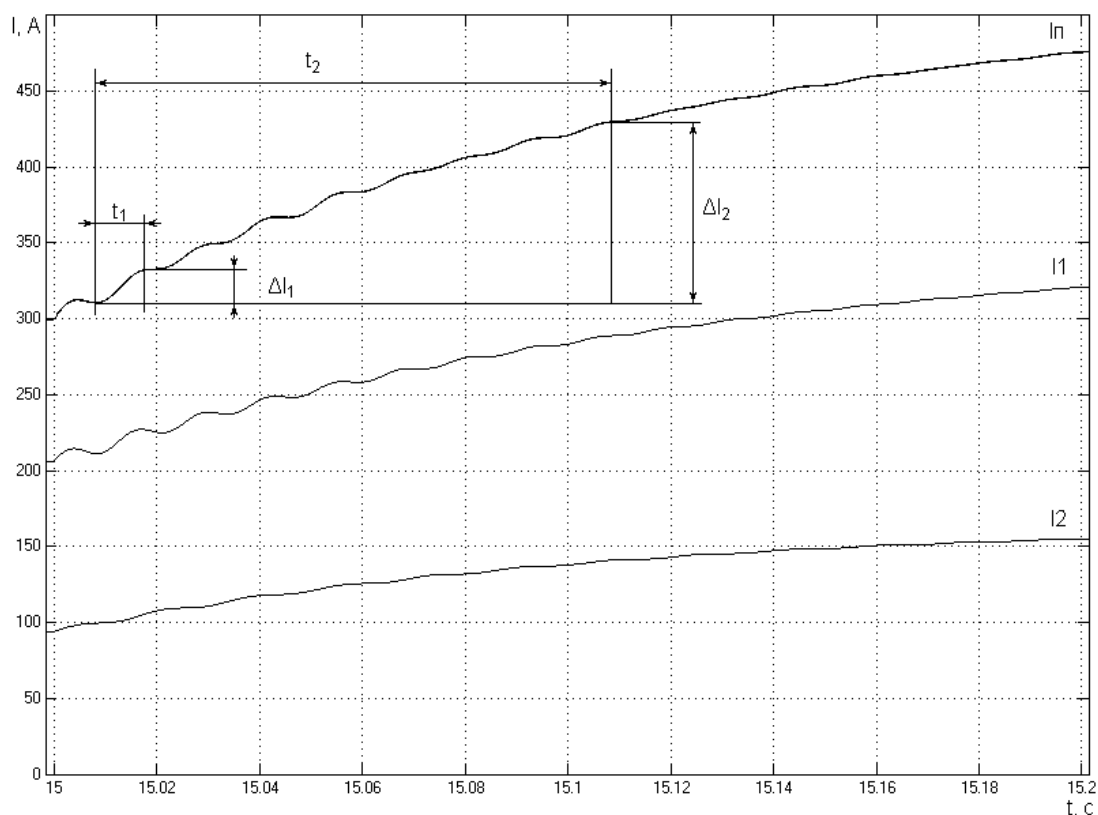


Рисунок 3 – Переходные процессы в тяговой сети при повторном пуске (фрагмент в меньшем масштабе времени)

Математическая модель позволяет многократно выполнить исследование переходных процессов в тяговой сети при разных режимах её работы.

Элементы математического моделирования с соответствующей адаптацией можно использовать при разработке методики расчёта уставок защит, реагирующих на токовые признаки короткого замыкания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов, С.М. Защита тяговой сети от токов короткого замыкания: учеб. пособие / С.М. Кузнецов. -Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2005. -352 с.

2 Устройство цифровых защит и автоматики фидеров ЦЗАФ-3,3: рук. по эксплуатации 1СР.251.208-01РЭ. -М., 2004. -69 с.

3 Гречишников, В.А. Опыт разработки и эксплуатации блоков микропроцессорных защит фидеров постоянного тока 3,3 кВ [Электронный ресурс] / В.А. Гречишников, В.Н. Пупынин. - Режим доступа: www.elektro.elektrozavod.ru/1_2004.htm.

4 Кузнецов, С.М. Совершенствование технических требований к многопараметрической защите системы тяговая подстанция-тяговая сеть-электроподвижной состав / С.М. Кузнецов, А.В. Гашкова, Б.В. Малоземов // Транспорт: наука, техника, управление. -2009. -№8. -С. 36-40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: математическое моделирование, переходные процессы, защита, уставка, приращение (скачок) тока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузнецов Сергей Михайлович, канд. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГТУ»
Демиденко Иван Сергеевич, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»
Ярославцев Михаил Викторович, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»
Гашкова Анфиса Валерьевна, аспирант ГОУ ВПО «НГТУ»
Кривова Анастасия Олеговна, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

СНИЖЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ТОРМОЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Е.А. Спиридонов, А.А. Штанг

REDUCTION OF ENERGY STORAGE MASS PARAMETERS BY THE FLUX REGULATION OF TRACTION ELECTRIC DRIVE IN BREAKING MODE

«Novosibirsk state technical university»

E.A. Spiridonov, A.A. Shtang

Results of calculation of traction electric drive flux reduction in breaking mode of electric vehicle are presented and reduction of energy storage mass parameters is shown at similar regulation.

Представлены результаты расчётов ослабления возбуждения тяговой электрической машины в режиме торможения электротранспортного средства и показано снижение массогабаритных показателей накопителя энергии при подобном регулировании.

Одним из наиболее важных параметров, определяющих массогабаритные параметры накопителя энергии на базе конденсаторов двойного электрического слоя (КДЭС), является максимальное рабочее напряжение. На сегодняшний день максимальное рабочее напряжение одного элемента [1] не превышает 3 В. Даже незначительное превышение этого напряжения приводит к частичному или полному разрушению двойного слоя, что влечёт за собой существенное снижение рабочих показателей КДЭС. Для работы в системах с более высокими уровнями напряжения применяются батареи из последовательно соединённых конденсаторов. Максимальный ток, который не разрушает структуры элемента, у некоторых производителей достигает значения 1000 А [1], поэтому можно говорить о том, что величина тока, который для подвижного состава не превышает 400 А, не является фактором, существенно влияющим на массогабаритные параметры накопителя. Массогабаритные параметры накопителя энергии главным образом зависят от диапазона рабочих напряжений.

Максимальное напряжение, вырабатываемое генератором в режиме электрического торможения, ограничено потенциальными условиями на коллекторе и определяется [2]:

$$U_{\text{макс}} = \frac{e_{\text{макс}} \cdot k}{K_1 \cdot 2p}; K_1 = \frac{\left(1 + 0,45 \frac{F_{\text{р.я.}}}{F_e}\right)}{\alpha_i}, \quad (1)$$

где K_1 – постоянный коэффициент для машины при постоянном поле возбуждения;

k – число коллекторных пластин;

$2p$ – число полюсов машины;

α_i – дуга полюсного перекрытия;

$F_{\text{р.я.}}$ – намагничивающая сила реакции якоря;

F_e – намагничивающая сила поля возбуждения.

В качестве критерия при выборе закона изменения степени ослабления поля принимается максимальная величина напряжения в режиме торможения. В силу того, что напряжение генератора зависит от скорости, целесообразно представить степень ослабления поля в функции скорости электроподвижного состава (ЭПС). Если не применять ослабление поля в режиме торможения, принимая во внимание постоянство тормозного замедления, зависимость напряжения генератора от скорости будет иметь вид, представленный на рисунке 1 кривой 1. При ослаблении поля (ОП) возбуждения снижается величина $U_{\text{доп}}$. До значения скорости V_1 напряжение на генераторе равно значению $U_{\text{доп},2}$

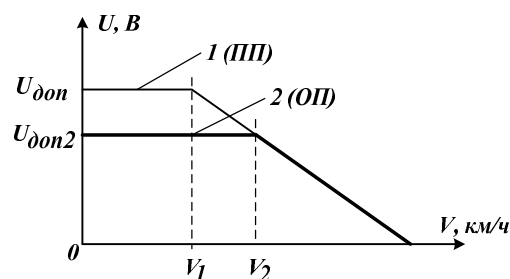


Рисунок 1 – Характер изменения напряжения генератора от скорости в режиме торможения: ПП-полное поле возбуждения; ОП-регулирование возбуждения

при постоянном коэффициенте ослабления поля. При дальнейшем снижении скорости коэффициент ослабления поля α необходимо увеличивать, чтобы напряжение оставалось постоянным. При достижении скорости V_2 коэффициент $\alpha = 1$, то есть осуществляется выход на полное поле возбуждения. При дальнейшем снижении скорости происходит уменьшение напряжения на генераторе, регулирование поля возбуждения не происходит.

Таким образом, изменение коэффициента ослабления поля происходит только в диапазоне скоростей $V_1 - V_2$. Графическое изображение функции степени ослабления поля в режиме торможения представлено на рисунке 2.

По методикам, описанным в [3], рассчитываются зависимости тормозной силы от скорости для режимов полного и ослабленного поля, представленные на рисунке 3. На рисунке кривая для ослабленного поля построена с учётом зависимости $\alpha(v)$, то есть для режима поддержания максимального напряжения генератора на уровне $U_{кон(р)} = 720$ В.

Тормозное замедление определяется по выражению

$$a_{тор}(v) = \frac{B_{тор}(v) + M_{элс} \cdot w_0(v)}{102 \cdot (1 + \gamma) \cdot M_{элс}}, \quad (2)$$

где $M_{элс}$ – масса электроподвижного состава, т;
 $(1 + \gamma)$ – коэффициент вращающихся частей поезда;

$B_{тор}$ – тормозная сила;

w_0 – сила сопротивления движению.

Решая задачу необходимо принимать во внимание, что в диапазоне высоких скоростей начала торможения тормозная сила, а, следовательно, и замедление, не являются постоянными. Поэтому для оценки изменения длины тормозного пути необходимо оценить среднее значение замедления $a_{м.ср}$ за весь процесс торможения

$$a_{м.ср} = \frac{1}{V} \int_0^V a_{тор}(v) dv, \quad (3)$$

где v – скорость начала торможения.

Среднее замедление является постоянным на протяжении всего процесса торможения, тогда тормозной путь

$$S_{тор} = \frac{V^2}{2 \cdot 3,6^2 \cdot a_{тор}}, \text{ м}, \quad (4)$$

где V – скорость, км/ч;
 $a_{тор}$ – замедление, м/с².

Расчёты показывают, что увеличение тормозного пути не превышает 2% от величины тормозного пути при полном поле возбуждения машины (отсутствии регулирования поля). Полученный результат следует считать удовлетворительным и принять, что регулирование поля возбуждения не оказывает существенного влияния на тормозные характеристики подвижного состава.

Ёмкость накопительного устройства определяется диапазоном рабочих напряжений накопителя. Без учёта потерь энергии при заряде можно записать

$$C_{нз} = \frac{2 \cdot A_{тор}}{U_{кон}^2 - U_{нач}^2}, \quad (5)$$

где $A_{тор}$ – энергия торможения транспортного средства.

Снижение величины $U_{кон}$ приводит к необходимости увеличения ёмкости накопительного устройства. При отсутствии регулирования возбуждения величина конечного напряжения

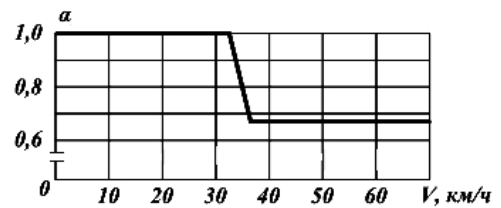


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента ослабления поля от скорости в режиме торможения

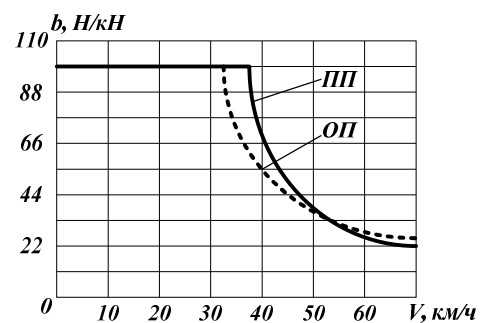


Рисунок 3 – Зависимость удельной тормозной силы от скорости

конденсаторной батареи определяется допустимым напряжением на коллекторе и равна 850 В (для двигателя ДК-211 БМ). Величина начального напряжения определяется из условия, что глубина разряда накопителя энергии не превышает 50%, то есть $U_{нач} = 425$ В. При этом ёмкость накопителя энергии

$$C_1 = \frac{2 \cdot A_{тор}}{(U_{кон}^2 - U_{нач}^2)} = \frac{2 \cdot 10^6}{(850^2 - 425^2)} = 3,69 \text{ Ф.} \quad (6)$$

При регулировании поля возбуждения

$$C_2 = \frac{2 \cdot A_{тор}}{(U_{кон}^2 - U_{нач}^2)} = \frac{2 \cdot 10^6}{(720^2 - 360^2)} = 5,1 \text{ Ф.} \quad (7)$$

Таким образом, снижение максимального напряжения накопителя на 15% приводит к увеличению его ёмкости на 38%.

По результатам обзора продукции мировых лидеров в области производства КДЭС в качестве наиболее оптимальных приняты конденсаторы фирмы Epcos. Накопитель энергии с параметрами, удовлетворяющими (6) набирается из конденсаторов ёмкостью 1800 Ф и максимальным напряжением 2,5 В. Для накопителя энергии требуется последовательное соединение 340 таких элементов. Общая масса накопительных элементов (без учёта массы кожура) составляет 102 кг.

Накопитель энергии, удовлетворяющий условию (7) собирается из тех же элементов, но для такого накопителя требуется 290 элементов. Суммарная масса конденсаторов составляет 87 кг. Такой эффект достигается за счёт более полного использования конденсаторов.

Таким образом, ослабление поля возбуждения в режиме торможения не приводит к заметному увеличению тормозного пути подвижного состава, но позволяет на 15% снизить массу и стоимость накопителя энергии при одинаковой величине запасаемой энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 UltraCap Datasheets [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://www.maxwell.com/pdf/uc/datasheets/MC_Cell_Power_1009361_rev9.pdf -Загл. с экрана.

2 Ефремов, И.С. Теория и расчёт электрооборудования подвижного состава городского электрического транспорта / И.С. ефремов, Г.В. Косарев. -М.: Высш. шк., 1976. -480 с.

3 Розенфельд, В.Е. Теория электрической тяги / В.Е. Розенфельд, И.П. Исаев, Н.Н. Сидоров. -М.: Транспорт, 1983. -328 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *накопитель энергии, конденсатор двойного электрического слоя, регулирование возбуждения, тяговый электропривод*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Спиридонов Егор Александрович, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»
Штанг Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.П. Вертохвостов

CALCULATION OF GEOMETRIC AND ELECTROMAGNETIC PARAMETERS OF THE TRACTION SWITCHED-RELUCTANCE MOTOR

«Novosibirsk state technical university»

A.P. Vertokhvostov

The mathematical model of the switched-reluctance motor with phase regulation for determining the geometric and electromagnetic parameters of the motor is presented. The traction motor for the trolleybus is calculated: the basic dimensions, currents, moment, loss and efficiency for the rated mode.

Представлена математическая модель вентильно-индукторного двигателя с фазным регулированием для определения геометрических и электромагнитных параметров двигателя. Рассчитан тяговый электродвигатель для троллейбуса: основные размеры, а также токи, момент, потери и КПД в часовом режиме.

Перспектива применения вентильно-индукторного двигателя (ВИД) в области городско-

го электрического транспорта (ГЭТ), на основе расчетного примера наглядно демонстрируются его положительные качества и присущие ему особенности. В [1] представлена математическая модель линейного ВИД, на основе которой в данной работе проводятся исследования вращающегося ВИД при соответствующей замене времени и линейного перемещения на угловую координату поворота ротора. Также используются методики расчета ВИД, представленные в работах [2-6], разработанные непосредственно для вращающихся ВИД и проводится сравнение полученных результатов.

Представленная методика расчета разработана без использования готовых имитационных программ и моделирования картины распределения магнитного поля в машине, и базируется на достаточно простых уравнениях, решение которых доступно в широко распространенных математических программах, к примеру, в Mathcad. Построенная модель отличается простотой и наглядностью и может быть использована на начальном этапе проектирования.

Вентильно-индукторный двигатель (ВИД) – электромеханический преобразователь энергии, который сочетает в себе свойства и электрической машины, и интегрированной системы регулируемого электропривода. *Индукторная машина (ИМ)* – структурная часть ВИД, которая осуществляет электромеханическое преобразование энергии.

На рисунке 1 приведено поперечное сечение ИМ. Статор содержит шихтованный магнитопровод с первичными полюсами, охваченными фазными обмотками, и ярмо. Ротор состоит из сердечника с полюсными выступами. При последовательном циклическом подключении фазных обмоток А, В, С, D к источнику напряжения постоянного тока с помощью электронных ключей полюсы статора и ротора поочередно притягиваются, создавая вращающий момент. Использование в работе фазного регулирования в отличие от ШИМ и релейного управления применено не только в целях упрощения модели, но и для учета аварийного и наиболее тяжелого режима работы двигателя. С другой стороны фазное регулирование является наиболее рациональным для мощных систем, когда применение ШИМ или релейного регулирования тока связаны с увеличением потерь в силовых цепях инвертора.

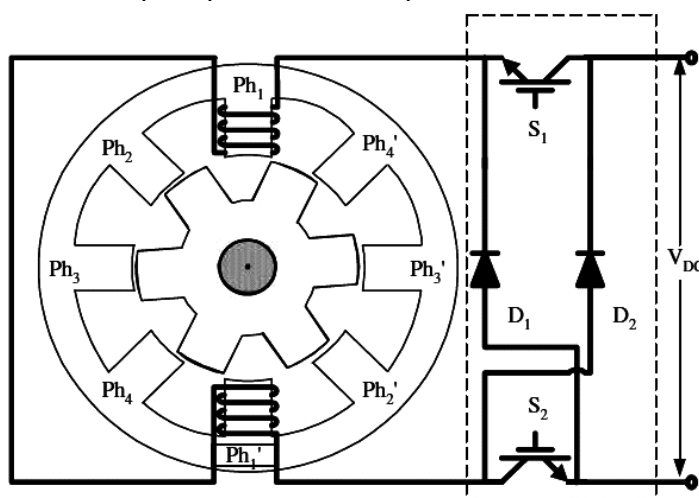


Рисунок 1 – Поперечное сечение 4-х фазной ИМ конфигурации 8/6 и мостовой преобразователь

При вращении ротора индуктивность L каждой фазы меняется во времени. Функция $L(t) = L_A$ (рисунок 2) состоит из следующих участков:

- $L = L_{\min} \approx \text{Const}$ при $(\theta_2 - g) \leq \theta \leq \theta_2$ для рассогласованного положения полюсов статора и ротора (g – длительность периода с $L = L_{\min}$);
- $L = L_{\min} \approx \text{Const}$ при $\theta_4 \leq \theta \leq \theta_5$ (согласованное положение полюсов);
- $L(t)$ нарастает при $\theta_2 \leq \theta \leq \theta_4$ и падает при $\theta_5 \leq \theta \leq \theta_6$, когда имеется частичное перекрытие полюсов.

Реальная функция $L(t)$ не имеет изломов и меняется относительно плавно, однако в приближенном анализе ее представление в виде сопряженных линейных участков является допустимым [1, 5, 6] (на рисунке 2 штрихпунктиром показаны кривые тока, напряжения и потокосцепления без учета насыщения, сплошные – с учетом насыщения).

Взаимная индуктивность между фазами не учитывается в виду её малости [1,3].

В качестве исходных величин принимаются:

- m – число фаз;
- q – число зубцов статора, приходящееся на одну фазу;
- U – напряжение питания инвертора, В;
- ω_H – номинальная частота вращения, рад/с.

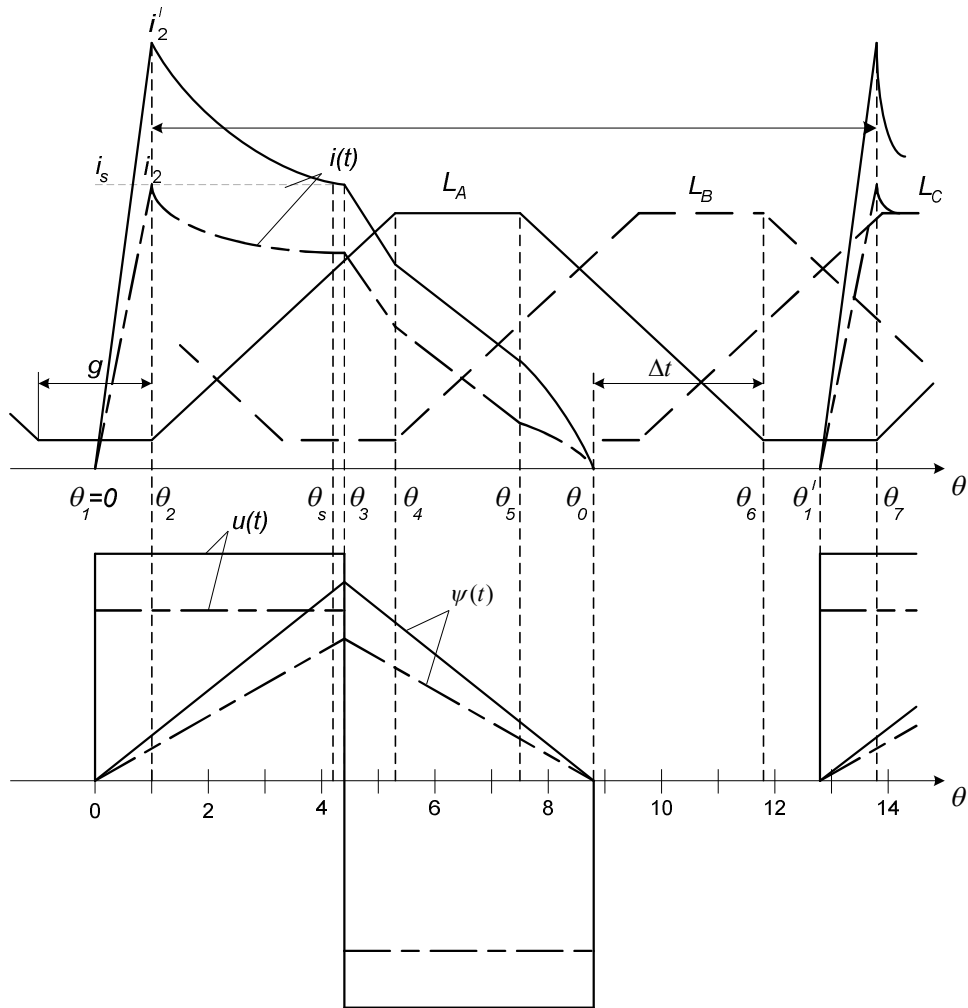


Рисунок 2 – Временные диаграммы электромагнитных процессов ВИД

Ниже приведены расчетные соотношения для определения главных размеров ВИД [2, 5]:

$$Z_1 = qm; Z_2 = q(m - 1); \tag{1}$$

$$D_{cb} = 0,67D_c; \delta = 0,01D_{cb}; l_c = 1,5D_{cb}; \tag{2}$$

$$b_c = D_{cb} \sin \frac{\pi}{2q}; b_p = D_{cb} \sin \frac{\pi}{2q(m-1)}; \tag{3}$$

$$h_{яс} = 0,9b_c; h_{яp} = 0,9b_p, \tag{4}$$

где Z_1, Z_2 – соответственно, числа зубцов магнитопровода статора и ротора;

D_{cb}, D_c, δ, l_c – диаметр расточки статора, внешний диаметр статора, воздушный зазор и длина пакета статора;

$b_c, b_p, h_{яс}, h_{яp}$ – ширина зубцов и высоты ярем статора и ротора.

Используя найденные величины нетрудно определить высоты зубцов статора и ротора, задавшись диаметром вала двигателя. Дальнейший расчет сводится к нахождению числа витков обмотки зубца статора исходя из максимального заполнения паза статора, используя рекомендации [3, 4]

$$w = \frac{S_{пс} k_3 j \sqrt{3}}{2I_0}, \tag{5}$$

где $S_{пс}$ – сечение паза статора;

k_3 – коэффициент заполнения обмотки медью;

j, I_0 – допустимая плотность тока и средний ток ключа инвертора.

В ходе дальнейшего расчета найденное число витков потребует уточнения.

Для нахождения угловых координат поворота ротора вводятся следующие относитель-

ные величины [1]:

$$\alpha_1 = \frac{b_c}{\tau_c}; \alpha_2 = \frac{b_p}{\tau_p}; k_b = \frac{b_p}{b_c}, \quad (6)$$

где τ_c, τ_p – полюсные деления статора и ротора.

Угол θ_2 принимается в качестве базового и определяется из соотношения

$$\theta_2 = \frac{2b_c\gamma}{D_p} \left[k_b \left(\frac{1}{\alpha_2} - 1 \right) - 1 \right], \quad (7)$$

где γ – доля угла опережения включения фазы в периоде g , во многом определяющая режим работы двигателя, требования к пульсациям момента и максимизации выходной мощности [7, 8].

Остальные величины углов находятся по формулам, приведенным в [1], заменяя соответствующее время на угловую координату.

Конкретизация размеров позволяет оценить значение k_λ кратности изменения магнитной проводимости воздушного зазора

$$k_\lambda = \frac{1}{2} \left[\frac{1}{\pi} + \frac{2}{3} \frac{h_c}{(\tau_c - b_c)} \right] + 0,52 + \frac{b_{cp}}{h_p + 2\delta}, \quad (8)$$

где b_{cp} – средняя ширина потока между полюсом статора и основанием паза между зубцами ротора,

$$b_{cp} = \frac{b_c}{2} \left[k_b \left(\frac{1}{\alpha_2} - 1 \right) + 1 \right]. \quad (9)$$

Кратность изменения индуктивности приближенно определяется из соотношения

$$k_L = \frac{L_{\max}}{L_{\min}} \approx 1 + \frac{1}{k_\lambda \delta_r}, \quad (10)$$

где δ_r – относительный зазор,

$$\delta_r = \frac{\delta}{b_c}.$$

Минимальное значение индуктивности фазы приближенно

$$L_{\min} = q \frac{w^2 \mu_0 b_c I_c}{\delta (k_L - 1)}. \quad (11)$$

Как известно [5-8], локальное насыщение стали в окрестности рабочего зазора улучшает энергетические и моментные показатели ВИД. Степень насыщения будем характеризовать коэффициентом $k_s = i_s / i'_2$. Ток насыщения в момент начала перекрытия зубцов статора и ротора при $\theta = \theta_2$

$$i_s = \frac{\Phi_s}{w \lambda_{\min}} = \frac{\Phi_s}{w \left(\frac{\mu_0 b_c I_c q}{\delta} \frac{1}{k_L - 1} \right)}, \quad (12)$$

где Φ_s – магнитный поток насыщения стали зубца статора,

$$\Phi_s = B_s b_c I_c.$$

Далее по методике [1] находятся безразмерные величины токов на шести участках его изменения (токи отнесены к $i_2 = \frac{U k_s \theta_2}{L_{\min} \omega_H}$, угловая координата к θ_2). Момент, создаваемый фазой ВИД

$$M(\theta) = \frac{i^2(\theta)}{2\omega_H} C, \quad (13)$$

$$C = \frac{dL}{dt} = \frac{w^2 \mu_0 I_c \omega_H D_p q}{2\delta}. \quad (14)$$

На рисунке 3 представлены кривые фазного тока в относительных величинах и момента, создаваемого фазой, в абсолютных величинах для рассмотренного ниже расчетного примера (без учета насыщения).

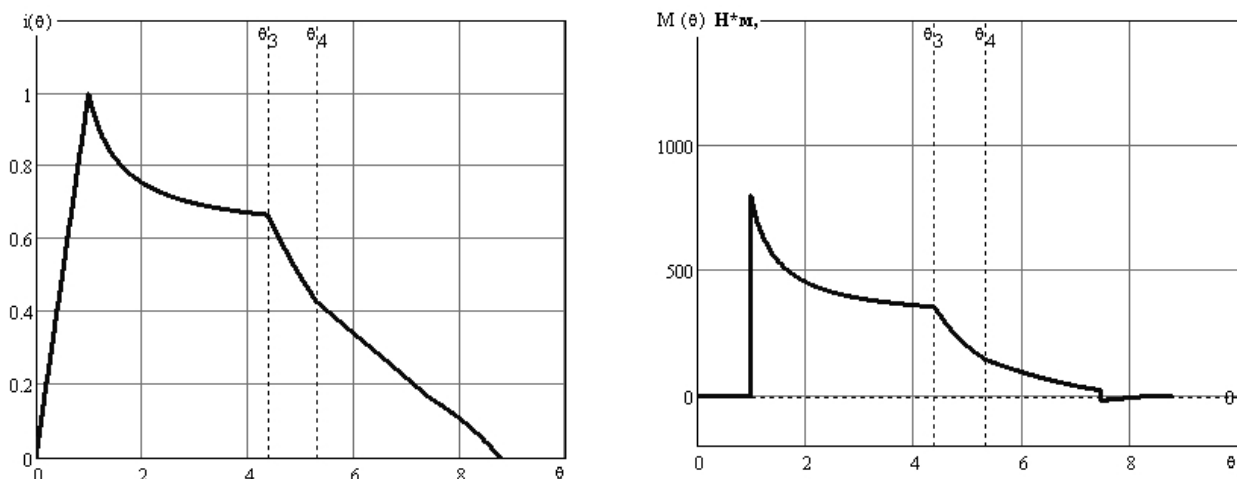


Рисунок 3 – Кривые фазного тока и момента ВИД

Для расчетного примера исходными данными являлись: $m = 3$, $q = 4$, $k_s = 2/3$, $U = 550$ В, $\omega_H = 150$ рад/с, $\gamma = 0,5$, в качестве материала использовалась сталь марки 3413 с индукцией насыщения $B_s = 1,4$ Тл. Результаты итерационных расчетов приведены в таблице.

Простота конструкции и схемы питания ВИД и, как следствие, низкая стоимость позволяют данному типу двигателей успешно конкурировать в области транспорта с асинхронными и синхронными двигателями на постоянных магнитах. Уже на этапе проектирования ВИД показывает значительное снижение массогабаритных параметров по сравнению с существующими в ГЭТ двигателями постоянного тока при сохранении высокого значения КПД. С другой стороны, фазное регулирование при простоте своей реализации и малых потерях в преобразователе показывает значительные пульсации тока и момента, снижение которых требует перехода на более совершенные способы управления ВИД, указанные в [3, 7, 8].

Таблица – Основные расчетные параметры тягового ВИД

Наименование расчетных величин	Значение
Конфигурация ВИД Z_1/Z_2	12/8
Геометрические параметры ВИД:	
– внешний диаметр статора D_c , м	0,35
– воздушный зазор δ , м	0,002
– диаметр ротора D_p , м	0,23
– активная длина статора l_c , м	0,352
– число витков w	10
Кратность изменения индуктивности k_L	8
Угол начала перекрытия зубцов статора и ротора θ_2 , рад	0,061
Максимальный и действующий ток фазы i'_2/I_d , А	596/298
Максимальный и средний момент, создаваемый фазой M_{max}/M_{cp} , Н·м	798/300
Масса, кг:	
– полюсов и ярма статора	30/75,6
– полюсов и ярма ротора	28,8/46
Потери, Вт:	
– в обмотках	6374
– в стали полюсов и ярма статора	93,4/135,6
– в стали полюсов и ярма ротора	164,5/225,4
– полные	6992
КПД	0,895
Выходная мощность $P_H = m\omega_H M_{cp}\eta$, Вт	121000

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бут, Д.А. Линейные вентильно-индукторные двигатели. Ч.1,2 / Д.А. Бут // Электричество. -1999. -№12; 2000. -№1.
- 2 Голландцев, Ю.А. Вентильные индукторно-реактивные двигатели / Ю.А. Голландцев. - СПб.: ГНЦ РФ: ЦНИИ «Электроприбор», 2003. -148 с.
- 3 Кузнецов, В.А. Особенности расчета индукторных двигателей для вентильного электропривода / В.А. Кузнецов // Электротехника. -1998. -№6.

4 Кузнецов, В.А. К вопросу определения числа витков обмотки фазы вентильного индукторного двигателя / В.А. Кузнецов // Электротехника. -2000. -№3.

5 Бычков, М.Г. Расчетные соотношения для определения главных размеров вентильно-индукторной машины / М.Г. Бычков, Р.С. Сусси // Электротехника. -2000. -№3.

6 Бычков, М.Г. Элементы теории ВИП / М.Г. Бычков // Электричество. -1997. -№8.

7 Красовский, А.Б. Исследование пульсаций момента в вентильно-индукторном электроприводе / А.Б. Красовский, М.Г. Бычков // Электричество. -2001. -№10.

8 Красовский, А.Б. Получение максимальной выходной мощности вентильно-индукторного электропривода средствами управления / А.Б. Красовский // Электричество. -2002. -№9.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *вентильно-индукторный двигатель (ВИД), индуктивность фазы, ток насыщения, математическая модель*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Вертохвостов Александр Петрович, ассистент ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ ПО МОМЕНТУ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов

MECHANICAL DATA AND OVERLOAD CAPACITY OF A FREQUENCY-CONTROLLED ASYNCHRONOUS MOTOR WITH A SQUIRREL-CAGE ROTOR AT THE STARTING TORQUE

«Novosibirsk state agricultural university»

G.Ya. Ivanov, A.Yu. Kuznetsov

The general regularities of mechanical data and adjustment characteristics of a frequency-controlled asynchronous motor for one of the most often used in practice frequency steering laws-under consistency of the main magnetic linkage in the air gap were studied in the article.

Исследованы общие закономерности для определения энергетических характеристик при частотном управлении асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором с целью обоснования оптимального режима работы соответствующего минимуму потерь и максимуму КПД при заданных значениях скорости и статического момента нагрузки.

С созданием так называемых биполярных транзисторов с изолированным затвором (модулей IGBT) область применения частотно-регулируемых асинхронных электроприводов (ЭП) с транзисторными преобразователями сильно расширилась. Во всём мире происходит быстрое вытеснение из промышленности вентильных электроприводов постоянного тока и их замена системами переменного тока, абсолютное большинство которых строится на базе асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором (АД). В серийно выпускаемых промышленных частотно-регулируемых электроприводах широко используется закон частотного управления АД при постоянстве главного магнитного потокоцепления в воздушном зазоре $\psi_m = const$. Это объясняется присущими данному закону управления высокими перегрузочными способностями по моменту, хорошими энергетическими показателями и простой технической аппаратной реализацией [2].

Вместе с тем основное положение классической теории электропривода, согласно которому момент потерь электрической машины, независимой от тока нагрузки, то есть момент постоянных потерь, относят к статической нагрузке на валу, делает затруднительным строгий анализ энергетики и механики регулируемого асинхронного электропривода, так как вместе с моментом потерь на вал «выносятся» и сами постоянные потери, составляющие в электрической машине до 50% от ее полных номинальных потерь, что может значительно изменить реальные механические и энергетические характеристики асинхронного двигателя в регулируемом электроприводе и поэтому при частотном управлении асинхронным приводом минимуму потерь двигателя не всегда соответствует максимум коэффициента полезного действия (КПД).

Авторами проведены исследования механических и регулировочных характеристик частотно – регулируемого АД типа 4AM90L4 мощностью 2,2 кВт и напряжением 380 В ($n_H = 1425 \text{ мин}^{-1}$; $\eta = 0,82$ и $\cos \varphi_H = 0,83$) в зоне повышенных значений электромагнитного момента. Исследования проводились с учетом нелинейности кривой намагничивания. Хотя

для получения более точного расчета, при учете нелинейности кривой намагничивания, вычисление регулировочных и энергетических характеристик существенно усложняется [4].

Для закона управления при постоянстве главного потокосцепления АД $e_m/\omega_1 = \psi_m = \text{Const}$ математическим описанием частотно-регулируемого идеализируемого АД в установившемся режиме в общепринятой системе относительных единиц служит следующая система уравнений [3, 5]:

$$\left\{ \begin{array}{l} R_r i_{rx} - \beta l_{\sigma r} i_{ry} = 0; \\ R_r i_{ry} + \beta (\psi_m + l_{\sigma r} i_{rx}) = 0; \\ i_m = \frac{1}{B} \text{tg} \frac{\psi_m}{A l_m}; \\ i_{sx} = i_m - i_{rx}; \\ i_{sy} = -i_{ry}; \\ i_s = \sqrt{i_{sx}^2 + i_{sy}^2}; \\ U_{sx} = R_s i_{sx} - \omega_1 l_{\sigma s} i_{sy}; \\ U_{sy} = R_s i_{sy} + \omega_1 (\psi_m + l_{\sigma s} i_{sx}); \\ U_s = \sqrt{U_{sx}^2 + U_{sy}^2}; \\ M = \frac{3}{2} \psi_m i_{sy}. \end{array} \right. \quad (1)$$

где $i_{sx}, i_{sy}, i_{mx}, i_{my}$ – проекции векторов соответственно токов статора и намагничивания на оси ортогональной системы координат;

i_{ry}, i_{ry} – проекции вектора тока ротора;

U_s, U_{sx}, U_{sy} – модуль и проекции вектора напряжения статора;

$\psi_m, \psi_{my}, \psi_{mx}$ – модуль и проекции вектора главного потокосцепления;

ω_1, β, M – угловая частота статора, абсолютное скольжение и электромагнитный момент АД;

$l_{\sigma s}, l_{\sigma r}, l_m, R_s, R_r$ – параметры Т-образной схемы замещения АД (соответственно, индуктивности рассеяния статора и ротора, индуктивность намагничивания, активные сопротивления статора и ротора).

Система уравнений (1) определяет в не явном виде общую закономерность частоты вращения двигателя от переменных величин: напряжения, частоты тока и момента. Из этих уравнений при каждом значении статического момента $M_c = \text{Const}$ и частоты вращения двигателя $\omega = \text{Const}$ определяется закономерность регулирования напряжения статора от приложенной частоты питания, а при заданных закономерностях изменения напряжения в функции частоты, находятся при $M_c = \text{Const}$ изменение частоты вращения в функции частоты питающего напряжения.

Система уравнений (1) записана в проекциях переменных величин АД на оси вращающейся ортогональной системы координат XY, связанной вещественной осью с вектором главного потокосцепления ψ_m . За расчетное базовое значение главного потокосцепления принята величина его при холостом ходе АД [3] (хотя можно и в точке номинального режима [5]). Для решения системы уравнений использовалась арктангенциальная аппроксимация кривой намагничивания с постоянными коэффициентами $A = 1,12$ и $B = 1,2$ [6].

Расчет электромагнитных переменных велся при изменении абсолютного скольжения β от 0 до 0,2 о.е. с дискретностью шага в 0,005 о.е. и при фиксированных значениях частоты статора ω_1 (1; 0,5; 0,1 о.е.). Используемый вариант системы относительных единиц позволяет оценить исследуемый режим двигателя по отношению к его характеристикам в номинальном режиме [1]. Для расчета частоты вращения ротора, коэффициента мощности $\cos \varphi$, КПД η АД использовались формулы:

$$\omega_2 = \omega_1 - \beta; \cos \varphi = \frac{U_{sx} i_{sy} - U_{sy} i_{sx}}{U_{sx} i_s}; \eta = \frac{M \omega_2}{U_{sx} i_{sy} - U_{sy} i_{sx}}. \quad (2)$$

На рисунке приведены в относительных единицах механические, энергетические и ре-

гулировочные характеристики исследуемого двигателя. На статор подавалось синусоидальное напряжение с регулируемой амплитудой и частотой, при этом частоте $\omega_1 = 1$ соответствует кривая изображенная сплошной линией; $\omega_1 = 0,5$ -пунктирной линией; $\omega_1 = 0,1$ -штрихпунктирной линией. На рисунке точками изображена естественная механическая характеристика при $U_s = 1$ и $\omega_1 = 1$, рассчитанная по уточненной формуле Клосса.

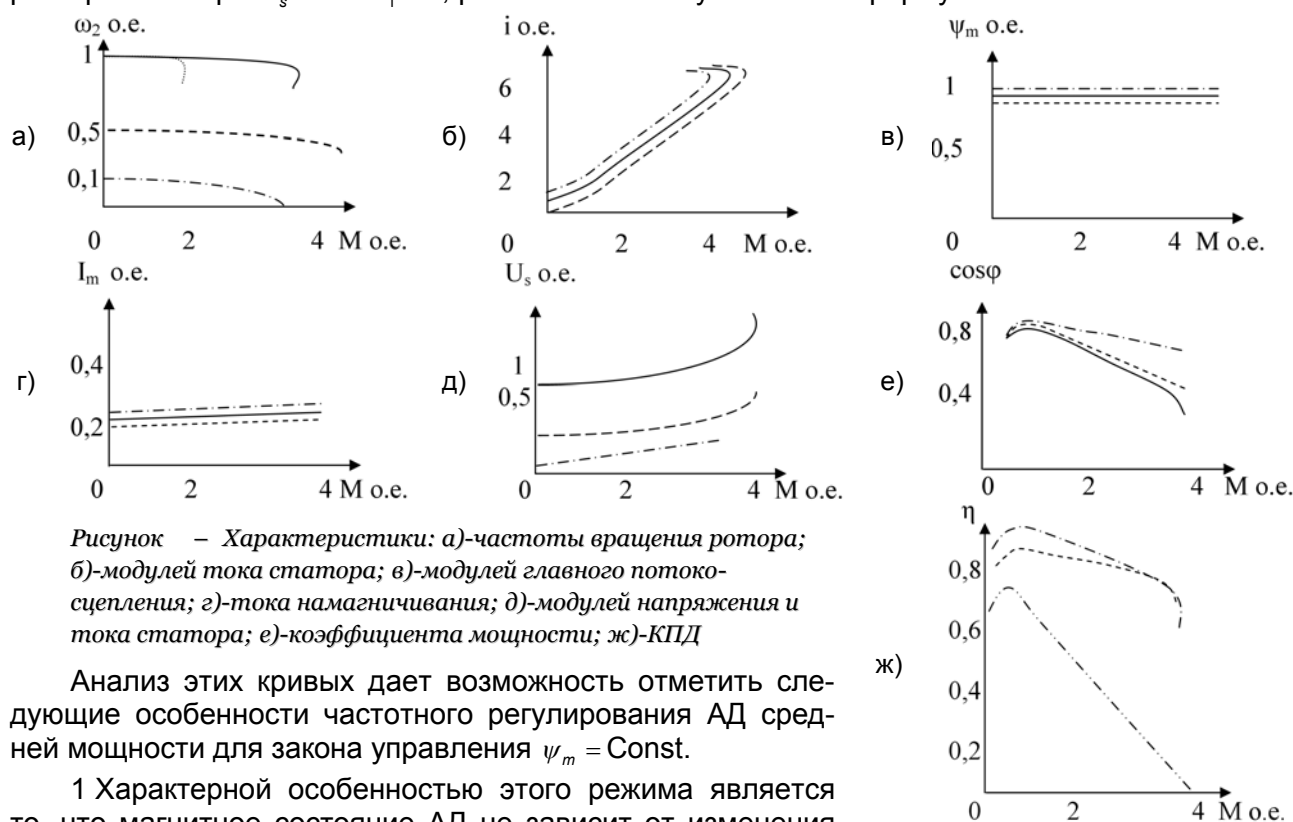


Рисунок – Характеристики: а)-частоты вращения ротора; б)-модулей тока статора; в)-модулей главного потока-сцепления; г)-тока намагничивания; д)-модулей напряжения и тока статора; е)-коэффициента мощности; ж)-КПД

Анализ этих кривых дает возможность отметить следующие особенности частотного регулирования АД средней мощности для закона управления $\psi_m = \text{Const}$.

1 Характерной особенностью этого режима является то, что магнитное состояние АД не зависит от изменения частоты и нагрузки. Благодаря этому перегрузочная способность двигателя существенно возрастает. В нашем исследовании критический момент увеличился почти в 1,8 раза.

2 Управление частотно-регулируемым АД при постоянстве потокосцепления ψ_m отличается однозначностью задания зависимости электромагнитного момента M от амплитуды статорного тока i_s двигателя, что позволяет в рабочем диапазоне частот ω_1 добиваться эффективного управления путем токоограничения источника питания АД. Для уменьшения потерь и соответственно роста КПД можно рекомендовать переход к АД с наименьшим значением номинальной скорости, (при соответствующем изменении передаточного числа редуктора если он имеется). АД с уменьшенной номинальной скоростью имеет большие габариты и большие возможности отвода энергии потерь. Хотя целесообразность завышения габарита АД должно достаточно точно обосновываться технико-экономическим анализом (так как при работе в режиме частых сбросов и набросов нагрузки завышение габаритов АД может не дать ожидаемых результатов [3]).

3 Рассмотренный закон частотного управления предполагает полную компенсацию напряжения, как на активном сопротивлении статора так и на индуктивном. В этом случае для получения высоких значений электромагнитного момента требуется примерно пропорциональное увеличение статорного тока и амплитуды питающего напряжения АД [4]. Так для создания четырехкратного электромагнитного момента требуется увеличение амплитуды питающего напряжения более чем в 1,5 раза а тока почти в 5 раз. В реальных условиях форсирование напряжения возможно исходя из возможностей источника питания (в нашем случае в диапазоне частот менее 0,7 о.е.). Компенсация падения напряжения в активных сопротивлениях обмотки статора устраняет снижение главного потока с понижением частоты, обусловленное ими самими, но не устраняет снижение потока с увеличением нагрузки из-за падения напряжения на индуктивных сопротивлениях.

4 В диапазоне электромагнитного момента меньше 2 о.е. закон управления $\psi_m = \text{Const}$ обеспечивает качественные регулировочные характеристики, хотя энергетические показатели в области больших перегрузок ухудшается достаточно сильно из-за потерь в двигателе

и преобразователе частоты, зависящих от токов статора.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Булгаков, А.А. Частотное управление асинхронными двигателями / А.А. Булгаков. -М.: Наука, 1966. -297 с.
 - 2 Шрейнер, Р.Т. Оптимальное частотное управление асинхронными электроприводами / Р.Т. Шрейнер, Ю.А. Дмитриенко. -Кишинев: Штиинца, 1982. -224 с.
 - 3 Андриенко, П.Д. Способы частотного управления асинхронными двигателями / П.Д. Андриенко, А.В. Волков // Электротехн. пром. электропривод. -1983. -№10. -С. 13-15.
 - 4 Иванов, Г.Я. Математическое моделирование процесса векторного управления асинхронным двигателем / Г.Я. Иванов, Б.В. Малоземов, А.Ю. Кузнецов // Энергообеспечение и энергосбережение в сельском хозяйстве: сб. науч. тр. / ГНУ ВИЭСХ. -М., 2006. -С. 380-387.
 - 5 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -264 с.
 - 6 Петров, Ю.П. Оптимальное управление электроприводом / Ю.П. Петров. -М.: Госэнергоиздат, 1961. -187 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** асинхронный двигатель
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Иванов Геннадий Яковлевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «НГАУ»
Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ГОУ ВПО «НГАУ»

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РАЗОМКНУТЫХ ПО СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ НА БАЗЕ АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ ТОКА

ГОУ ВПО «Липецкий государственный технический университет»

В.Н. Мещеряков, Д.В. Пешков

A CONCEPT OF OPEN-LOOP CONTROL SYSTEMS FOR ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH CURRENT-FED CONVERTER

«Lipetsk state technical university»

V.N. Mescheryakov, D.V. Peshkov

A new concept of current-fed converter control system is presented in the article. The concept permits to abandon the motor speed feedback in asynchronous electric drive.

Предложен принцип управления автономными инверторами тока, позволяющий отказаться от использования обратной связи по скорости двигателя при построении частотно-управляемых асинхронных электроприводов.

Современной электротехнической промышленностью производятся несколько типов полупроводниковых преобразователей частоты для частотно-управляемого асинхронного электропривода. Одним их малораспространенных типов являются преобразователи частоты (ПЧ) с промежуточным звеном постоянного тока и автономным инвертором тока (АИТ) на выходе.

Силовая часть ПЧ с АИТ приведена на рисунке 1 и включает в себя управляемый выпрямитель, сглаживающую индуктивность промежуточного звена, автономный инвертора тока на полностью управляемых полупроводниковых ключах и емкостной фильтр на выходе. Функцией управляемого выпрямителя, который может быть выполнен как тиристорным, так и активным, то есть на полностью управляемых полупроводниковых элементах, является поддержание тока в сглаживающей индуктивности промежуточного звена на заданном уровне. АИТ из постоянного тока на входе формирует переменный ток заданной частоты на выходе, причем амплитуда выходного тока АИТ определяется величиной тока в промежуточном звене. Форма выходного тока АИТ представляет собой импульсы тока прямоугольной формы, которые бы при питании активно-индуктивной нагрузки, к которой относится и асинхронный двигатель, приводили бы к недопустимым перенапряжениям. Для предотвращения перенапряжений на зажимах двигателя применяется выходные конденсаторы, которые фильтруют выходной ток АИТ, придавая ему практически синусоидальную форму.

Система управления ПЧ с АИТ достаточно сложна и для определения амплитуды формируемого тока двигателя требует обязательного наличия замкнутого контура регулирования с датчиком скорости на валу двигателя. Наиболее простой вариант системы управления приведен в [1]. В этой системе управления сигнал с датчика скорости на валу двигателя используется для определения величины абсолютного скольжения, которая в свою очередь используется функциональным преобразователем для определения требуемой величины тока промежуточного звена. Более сложные системы управления, применяемые при формировании выходного тока АИТ методом векторной широтно-импульсной модуляции (ШИМ), приведены в [2, 3].

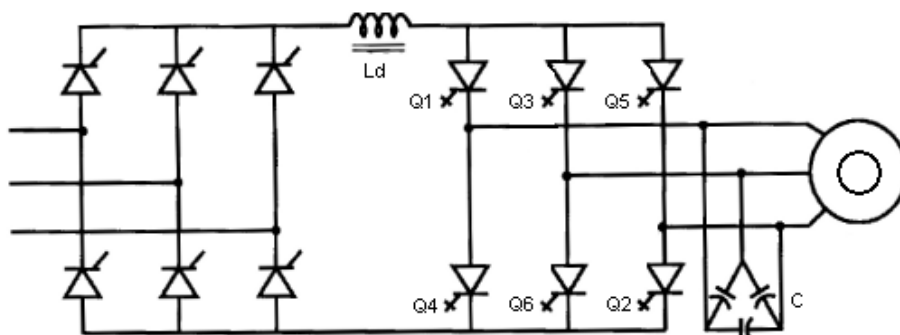


Рисунок 1 – Схема силовой части ПЧ с АИТ

Частотно-управляемые асинхронные электроприводы с ПЧ-АИТ обладают широким рядом достоинств. Наиболее важное из них – формирование высококачественных токов и напряжений двигателя, что является существенным преимуществом ПЧ-АИТ перед широко распространенными для всех классов мощности преобразователями частоты с автономными инверторами напряжения (АИН) с ШИМ-формированием выходного напряжения. Не менее важным достоинством ПЧ с АИТ является способность к рекуперации энергии торможения в питающую сеть без применения дополнительных элементов в силовой части. Кроме того, ПЧ с АИТ благодаря наличию индуктивности в промежуточном звене обладает высокой стойкостью к коротким замыканиям.

Существенный недостаток электроприводов с ПЧ с АИТ – сложная система управления с обязательным датчиком скорости на валу двигателя – ограничили его применение мощными механизмами. При этом современной мировой электротехнической промышленностью по причине высокого качества формируемого тока и напряжения выпускаются ПЧ с АИТ преимущественно высоковольтного исполнения.

Но вопрос качества формируемого напряжения на зажимах двигателя является очень актуальным и в низковольтных электроприводах малой и средней мощности, где традиционно используются ПЧ с ШИМ-АИН. Таким образом, можно сделать вывод о том, что разработка простых разомкнутых по скорости систем управления ПЧ с АИТ является актуальной, и создание таких систем управления позволило бы создавать конкурентоспособный электропривод на базе АИТ для механизмов малой и средней мощности.

Для построения системы управления АИТ без датчика скорости на валу двигателя предлагается, используя ПЧ с АИТ как источник импульсов тока управляемой амплитуды и длительности, формировать напряжение на конденсаторах выходного фильтра. Принцип формирования напряжения одной фазы проиллюстрирован на рисунке 2.

В систему управления АИТ поступают сигналы задания на напряжение каждой из фаз в виде синусоидального сигнала требуемой амплитуды и частоты, скалярный сигнал задания на точность формирования напряжения Δ и обратные связи по напряжению фаз фильтра. На основании этих сигналов определяются два граничных значения напряжения – верхнее и нижнее – в пределах которых должно находиться напряжение фазы фильтра в любой момент времени. При нарушении верхней границы АИТ формирует отрицательный импульс тока, который разряжает емкость, тем самым по-

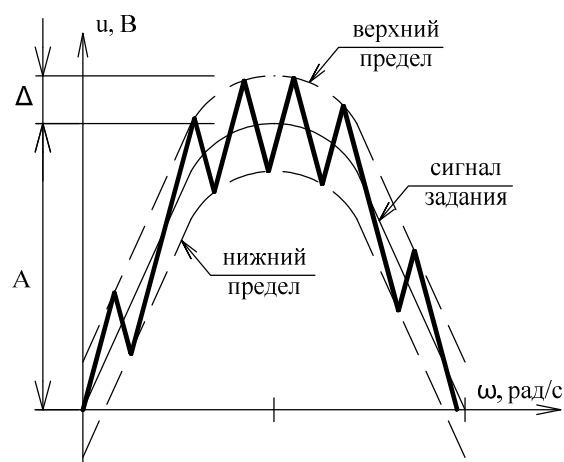


Рисунок 2 – Принцип релейного формирования напряжения

При нарушении верхней границы АИТ формирует отрицательный импульс тока, который разряжает емкость, тем самым по-

нижая напряжение на ней. В случае нарушения нижней границы АИТ формирует положительный импульс тока, емкость заряжается, повышая напряжение соответствующей фазы. Таким образом, на конденсаторах всех трех фаз выходного фильтра с заданной точностью формируется трехфазное синусоидальное напряжение.

Для математического описания принципа построения системы управления целесообразно воспользоваться представлением о пространственном векторе тока. В любой момент времени в АИТ должен быть включен один четный ключ и один нечетный, т.о. в любой момент времени ток в одной фазе положителен и равен по модулю току промежуточного звена I_d , в другой – отрицателен и равен по модулю I_d , а в третьей – равен нулю. Возможные комбинации состояний ключей АИТ приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Возможные комбинации состояний ключей АИТ

Номер вектора	Состояние ключей						Токи фаз		
	Q ₁	Q ₂	Q ₃	Q ₄	Q ₅	Q ₆	A	B	C
1	1	0	0	0	0	1	I_d	$-I_d$	0
2	1	1	0	0	0	0	I_d	0	$-I_d$
3	0	1	1	0	0	0	0	I_d	$-I_d$
4	0	0	1	1	0	0	$-I_d$	I_d	0
5	0	0	0	1	1	0	$-I_d$	0	I_d
6	0	0	0	0	1	1	0	$-I_d$	I_d

Обозначения: «0»-ключ разомкнут; «1»-ключ замкнут

Функция системы управления АИТ заключается в определении требуемого пространственного вектора тока в зависимости от сигналов заданий на напряжение u_a^* , u_b^* , u_c^* и сигналов обратных связей $u_{a.oc}$, $u_{b.oc}$, $u_{c.oc}$ по напряжению на конденсаторах выходного фильтра. Для этого определяются величины ошибок δ_a , δ_b , δ_c для каждой из фаз, то есть уровень отклонения фактического напряжения на конденсаторах от заданного:

$$\delta_a = \frac{u_{a.oc} - u_a^*}{\Delta}; \delta_b = \frac{u_{b.oc} - u_b^*}{\Delta}; \delta_c = \frac{u_{c.oc} - u_c^*}{\Delta}.$$

На основании величин ошибок определяется требуемый пространственный вектор тока. Его изменение происходит в момент времени, когда величина любой из трех ошибок превысит по модулю единицу. Условия выбора пространственного вектора тока приведены в таблице 2.

Данный принцип управления требует, чтобы величина тока промежуточного звена была не меньше минимально допустимой. Минимально допустимая величина тока промежуточного звена определяется специальным функциональным преобразователем как сумма мгновенного значения первой гармоники тока емкости и мгновенного значения первой гармоники тока двигателя.

Схема наиболее простой разомкнутой системы управления ПЧ с АИТ и релейным формированием напряжения на конденсаторах выходного фильтра приведена на рисунке 3.

Таблица 2 – Условия выбора пространственного вектора тока

Условие срабатывания	Условие выбора вектора	Номер вектора	Условие срабатывания	Условие выбора вектора	Номер вектора
$\delta_a \geq 1$	$\delta_b \leq \delta_c$	3	$\delta_b \leq -1$	$\delta_a \leq \delta_c$	2
	$\delta_b > \delta_c$	4		$\delta_a > \delta_c$	3
$\delta_a \leq -1$	$\delta_b \leq \delta_c$	1	$\delta_c \geq 1$	$\delta_a \leq \delta_b$	1
	$\delta_b > \delta_c$	6		$\delta_a > \delta_b$	2
$\delta_b \geq 1$	$\delta_a \leq \delta_c$	6	$\delta_c \leq -1$	$\delta_a \leq \delta_b$	5
	$\delta_a > \delta_c$	5		$\delta_a > \delta_b$	4

В данной системе управления напряжение на конденсаторах выходного фильтра поддерживается с помощью релейного регулятора РРН, на входы которого поступают три синусоидальных сигнала задания, три сигнала обратной связи и скалярный сигнал задания на

точность Δ . Сигналы задания формируются функциональным преобразователем из скалярных сигналов задания на амплитуду A и частоту f . Данная система управления придает ПЧ с АИТ некоторые свойства источника трехфазного синусоидального напряжения, позволяя отказаться от использования обратной связи по скорости.

Результаты математического моделирования предлагаемого принципа управления ПЧ с АИТ показали, что данная система может быть использована только для механизмов с невысокими требованиями к динамическим характеристикам и диапазону регулирования скорости, что связано с возрастанием частоты коммутации силовых ключей АИТ при формировании выходного напряжения малой (порядка 10 Гц) частоты.

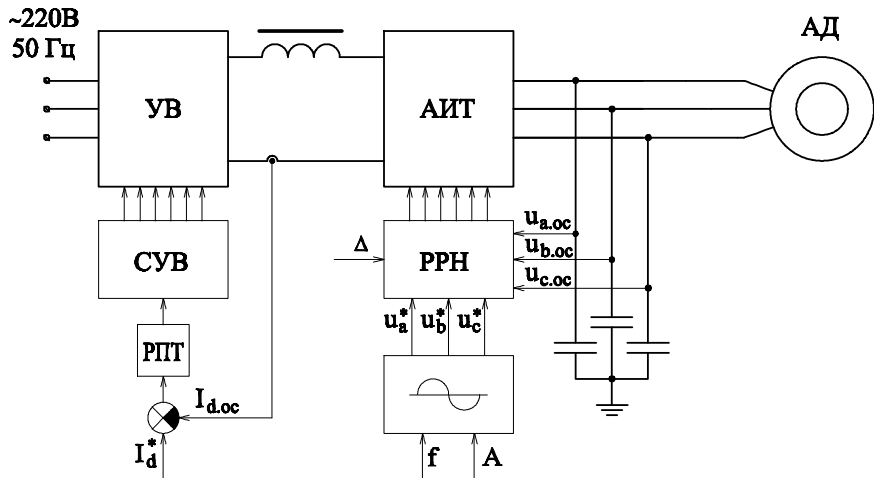


Рисунок 3 – Разомкнутая по скорости система управления

Кроме того, для поддержания частоты коммутации ключей АИТ на допустимом уровне (порядка 3 кГц) необходимо применять конденсаторы фильтра повышенной мощности – полная мощность конденсатора фильтра должна быть приблизительно равной номинальной полной мощности двигателя. Использование конденсаторов повышенной емкости приводит к завышенному потреблению реактивного тока из питающей сети. Данный недостаток в случае необходимости может быть компенсирован применением активного выпрямителя тока.

Таким образом, рекомендуемой сферой применения данного типа электропривода могут быть механизмы непрерывного действия с невысокими требованиями к динамике и диапазону регулирования скорости – например, механизмы непрерывного транспорта, а также различного типа насосы и вентиляторы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Башарин, А.В. Управление электроприводами: учеб. пособие для вузов / А.В. Башарин, В.А. Новиков, Г.Г. Соколовский. -Л.: Энергоиздат, 1982. -392 с.
- 2 Bose, B.K. Modern power electronics and AC drives / B.K. Bose. -New Jersey: Prentice Hall, 2001. -736 p.
- 3 Wu, B. High power converters and AC drives / B. Wu. -New Jersey: A John Wiley&Sons, Inc., 2006. -333 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: частотно-управляемый асинхронный электропривод, автономный инвертор тока
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Мещеряков Виктор Николаевич, докт. техн наук, профессор ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
 Пешков Дмитрий Васильевич, аспирант ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 398600, г. Липецк, ул. Московская, 30, ГОУ ВПО «Липецкий ГТУ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Б.В. Малозёмов, Е.В. Фоменко

USING SCADA-SYSTEMS FOR DIAGNOSING OF THE TRACTION ELECTRIC MOTOR
 «Novosibirsk state technical university»
 B.V. Malozyomov, E.V. Fomenko

In this article implementation of a method of reliability definition on diagnostic parameters with usage SCADA-systems is presented.

Представлена реализация метода определения надежности по диагностическим параметрам с использованием SCADA-систем.

Создание современных систем управления базируется на разработке и применении адаптивных интеллектуальных систем, функционирование которых невозможно без использования развитой вычислительной сети, включающей персональные компьютеры (ПК), микроконтроллеры и широкий набор модулей ввода/вывода. Усложнение технологических процессов и производств ставит задачи создания распределенных иерархических систем и их сквозного программирования, что объясняет появление новых компьютерных технологий для интегрированных систем, объединяющих все уровни производства [1].

В качестве примера может быть названа Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) система, предназначенная для проектирования и эксплуатации распределенных автоматизированных систем управления. Судя по названию, SCADA-система предназначена для диспетчерского управления и сбора данных.

SCADA-системы имеют мощные средства для создания распределенных иерархических АСУТП, включающих в себя до трех уровней иерархии: уровень контроллеров – нижний уровень; уровень операторских станций – верхний уровень; административный уровень. На рынке программных продуктов существует много версий SCADA-систем в основном зарубежных производителей, например Genesis фирмы Iconics, Factory Link фирмы United States DATD Co. (США), WinCC фирмы Siemens (Германия), Intouch фирмы Wonderware и др.

Ритмичная и устойчивая работа троллейбуса во многом зависит от надежности установленного на нем оборудования. Надежность функционирования электротехнического оборудования (ЭО) троллейбуса зависит от его технического состояния. В процессе эксплуатации под воздействием внешних факторов и специфических режимов работы техническое состояние оборудования непрерывно ухудшается, снижаются показатели надежности и увеличивается количество отказов.

Необходимый уровень надежности ЭО может поддерживаться только при условии систематического контроля и диагностирования его технического состояния и своевременного проведения ремонтных работ, предотвращающих снижение надежности. SCADA-системы можно использовать также для сбора, обработки и хранения диагностической и технико-экономической информации.

Используя теорему умножения вероятностей, согласно которой вероятность произведения независимых событий равна произведению вероятностей этих событий, можно определить вероятность $p(A)$ сложного события A . Следовательно

$$p(A) = \prod_{i=1}^n p(A_i).$$

Далее исходя из теоремы умножения вероятностей определяем точку в координатах $P(t)$ или $P(L)$. Каждая точка соответствует акту диагностирования и, соответственно, чем больше проводится актов диагностирования, тем больше точек будут располагаться на координатной плоскости. Такой метод применим как для диагностических стендов так и для бортовой диагностики, с помощью которой можно проводить диагностирование непрерывно в режиме реального времени и получать тем самым кривые изменения технического ресурса оборудования.

Реализация метода определения надежности по диагностическим параметрам представлена на основе авторской методики на примере ТЭД троллейбуса на рисунке 1. В качестве диагностических были выбраны три параметра: сопротивление изоляции двигателя R , ток якоря тягового электродвигателя $I_{я}$, потребляемый во время пуска, величина биения якоря l .

Как показали исследования надежности электротехнического оборудования с помощью диагностических признаков, кривые, полученные этим методом прохо-

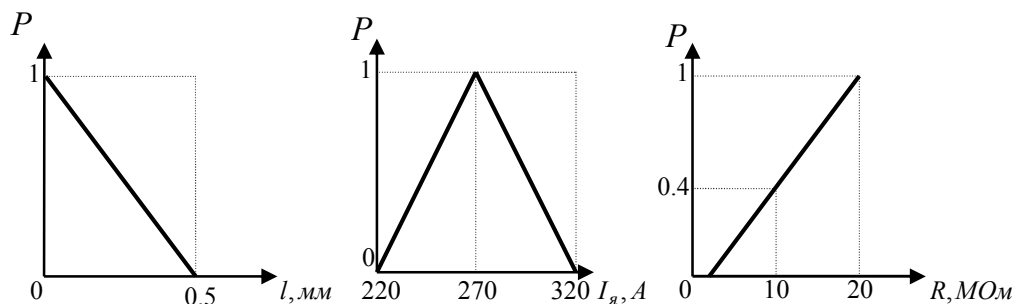


Рисунок 1 – Определение вероятности безотказной работы тягового электродвигателя по диагностическим признакам

дяд выше стохастических вероятностных кривых, давая, таким образом, завышенную оценку надежности. Это объясняется тем, что вероятностный стохастический метод учитывает влияние случайных факторов изменения надежности оборудования в условиях эксплуатации (рисунок 2).

Используя предложенный метод исследования надежности электро-технического оборудования троллейбуса с помощью диагностических признаков, появилась возможность оценивать качество диагностического процесса, сравнивая полученные диагностические кривые со стохастическими. Точность метода тем выше, чем больше диагностических признаков используется при диагностировании оборудования и чем точнее будут параметры диагностических признаков. В идеале величина Δs (рисунок 2) представляет собой изменение надежности исследуемого оборудования за счет внешних случайных воздействий в условиях эксплуатации.

Схема диагностируемого объекта представлена на рисунке 3.

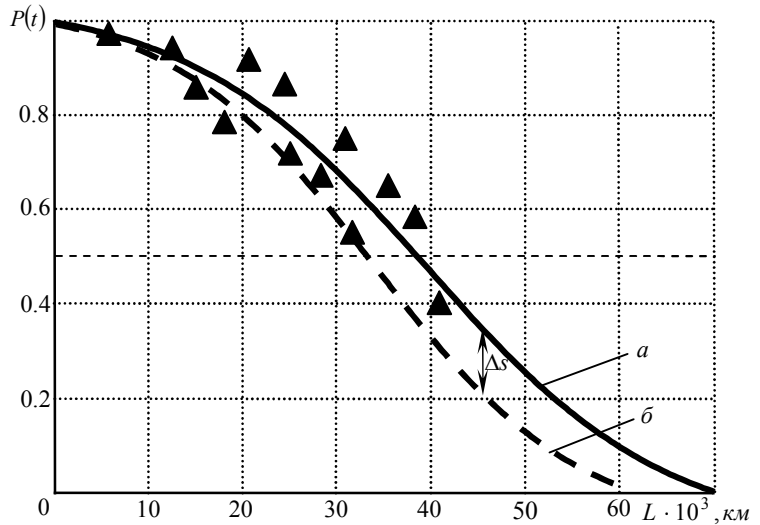


Рисунок 2 – Закон изменения надежности $P(L)$ тягового электродвигателя: а) — по параметрам диагностирования; б) — стохастический вероятностный

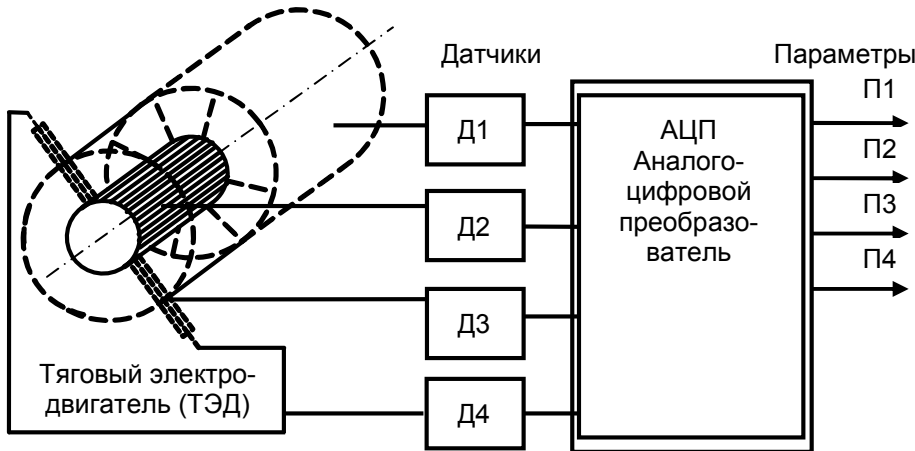


Рисунок 3 – Объект диагностирования

Возникает необходимость в создании базы данных датчиков для диагностики конкретного оборудования. Информация в базе является структурированной и динамически обновляемой. Словосочетание «динамически обновляемая» означает, что соответствие базы данных текущему состоянию предметной области обеспечивается не периодически, а в режиме реального времени.

При этом одни и те же данные могут быть по-разному представлены в соответствии с потребностями различных групп пользователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кузнецов, С.М. Влияние параметров системы технического обслуживания и ремонта троллейбуса на ее технико-экономическую эффективность / С.М. Кузнецов, Б.В. Малозёмов // Совершенствование технических средств электрического транспорта: сб. науч. тр. / Новосибир. гос. техн. ун-т. -Новосибирск, 2001. -Вып.2. -С. 29-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электротехническое оборудование, надежность, диагностирование, якорь тягового электродвигателя

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Малозёмов Борис Витальевич, канд., техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
 Фоменко Евгений Викторович, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К. Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

В.А. Карпенко, А.В. Сериков, В.М. Кузьмин

HEATING ELEMENT OF THE TRANSFORMER TYPE FOR SUPPLY HEAT SYSTEM

«Komsomolsk-on-Amur state technical university»

V.A. Karpenko, A.V. Serikov, V.M. Kuzmin

The considered design of the single-phase toroid heater of the transformer type with creation advanced short circuit secondary sidebar by accompaniments ribs in central tube secondary windings. The results of the researches are given below.

Рассмотрена конструкция однофазного тороидального нагревателя трансформаторного типа с созданием усовершенствованного короткозамкнутого вторичного контура путем установки ребер в центральную трубку вторичной обмотки. Приведены результаты исследований.

В жилых зданиях, кроме централизованного энергообеспечения, возможна установка автономной системы теплоснабжения (рисунок 1), состоящей из проточного нагревателя и замкнутого контура, обеспечивающего подачу горячей воды и обогрев здания.

Обычно в таких нагревательных устройствах 1 используется трубчатый электронагреватель (ТЭН) [1]. Однако у ТЭН есть существенные недостатки: низкий уровень электробезопасности, из-за старения материала оболочки есть необходимость тщательно следить за заземлением, появление накипи при нагреве ухудшает тепловое состояние ТЭНа и ведет к перегреву нагревательной спирали и выходу из строя.

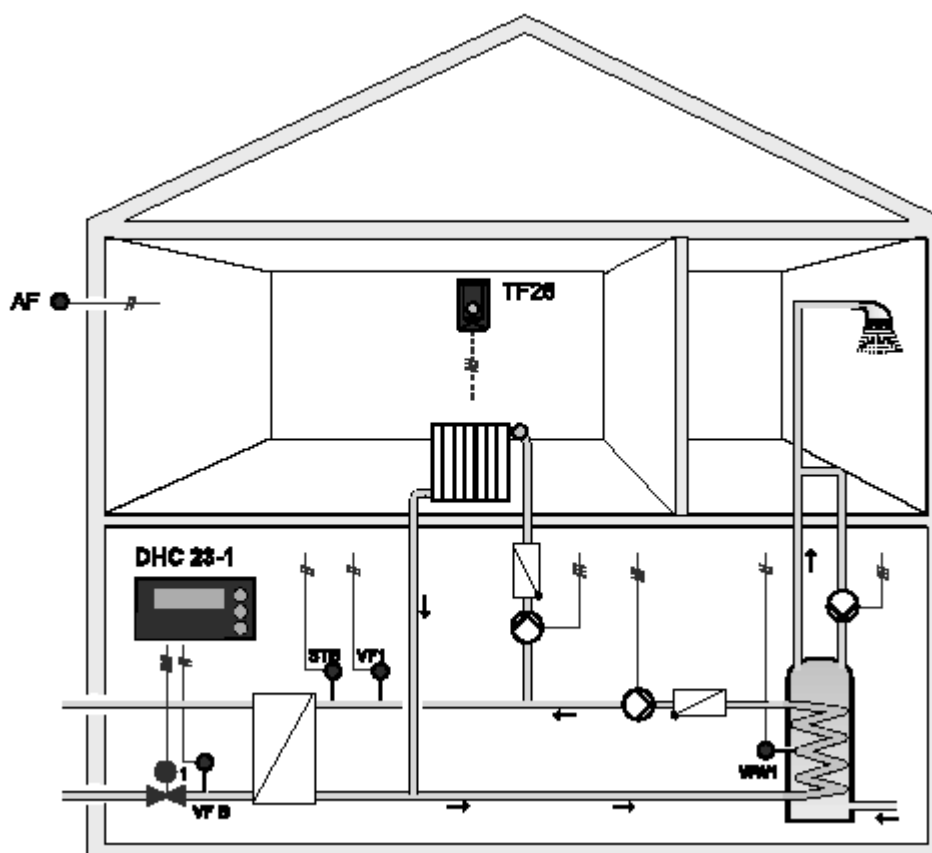


Рисунок 1 – Схема системы энергообеспечения жилого здания

Одним из наиболее перспективных видов электронагревательных устройств является нагревательный элемент трансформаторного типа (рисунок 2), который состоит из трансформатора с первичной и вторичной обмоткой, выполненной в виде короткозамкнутого вит-

ка [2]. Первичная обмотка подключена к однофазной сети переменного тока. Вторичная обмотка замкнута накоротко и состоит из центральной трубки 3, двух торцевых дисков 6, 7 и корпуса 5.

Тороидальная конструкция магнитной системы электроводонагревателей позволяет существенно уменьшить магнитное поле рассеяния, а также избежать стыковых соединений участков магнитной системы, следовательно, уменьшить потери реактивной мощности, величину намагничивающего тока, повысить коэффициент полезного действия и коэффициент мощности нагревательного элемента.

Нагрев осуществляется за счет Джоулевых потерь в короткозамкнутой вторичной обмотке, а также, частично, за счет потерь мощности в первичной обмотке и в стали магнитопровода. При этом наибольшая часть мощности выделяется в центральной трубке, которая непосредственно омывается нагреваемой водой.

Электронагревательное устройство работает следующим образом. Переменный ток, протекающий по первичной обмотке, создает переменный магнитный поток в магнитопроводе. Под действием электродвижущей силы, наведенной переменным магнитным потоком, по короткозамкнутой вторичной обмотке протекает электрический ток, нагревающий вторичную обмотку.

Расчет таких устройств показывает, что основная доля мощности выделяется в центральной трубке, поэтому для более равномерного распределения этой мощности рекомендуется центральную трубку выполнять из материала с меньшим удельным сопротивлением, что уменьшает технологичность изготовления вторичного контура.

Нагревательный элемент трансформаторного типа имеет ряд недостатков, во-первых, образование накипи на поверхности внутренней трубки, так как большая часть тепловой мощности сосредоточено во внутренней трубке. Во-вторых, как показывает расчет, режим течения жидкости во внутренней трубке ламинарный или переходный от ламинарного к турбулентному. Тем самым уменьшается величина коэффициента теплоотдачи.

Одна из возможных конструкций нагревательного элемента состоит из (рисунок 2) первичной обмотки 2, выполненной из медного или алюминиевого изолированного провода круглого сечения, равномерно намотанного на магнитопровод 1; короткозамкнутой вторичной обмотки, в виде полый тороидальной камеры 5 и торцевых дисков 6, 7, герметично закрывающих индуктор (магнитопровод и первичную обмотку) от проникновения воды. Дополнительно в центральной трубке устанавливаются плоские ребра 4, выполненные из немагнитной электропроводящей ленты, прилегающие винтообразно к стенкам центрального отверстия.

При включении первичной обмотки 2 в сеть в магнитопроводе 1 трансформатора возбуждается переменный магнитный поток, создающий в короткозамкнутой центральной трубке достаточно большой ток (измеряемый килоамперами) и соответствующий электронагрев этого проводника, пропорциональный квадрату вторичного тока в нем. В результате достаточно большой поверхности соприкосновения греющих стенок трубки 3 с нагреваемым теплоносителем (водой) между ними в корпусе 5 происходит интенсивный теплообмен.

Предлагаемое техническое решение рекомендуется использовать в нагревательном устройстве 1 автономной энергосистемы (см. рисунок 1), что значительно повысит её надежность и долговечность.

Ребра 4, прилегающие винтообразно к стенкам центральной трубки способствуют интенсивному перемешиванию жидкости и движению её по спирали. Это способствует более плотному прилеганию теплоносителя к стенкам трубки, что в свою очередь приводит к увеличению коэффициента теплоотдачи. Кроме этого, за счет ребер увеличивается поверхность теплоотдачи, следовательно уменьшается удельная тепловая нагрузка на поверхности нагрева.

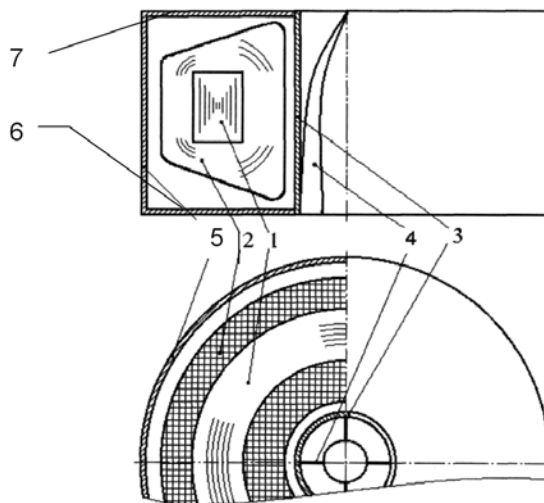


Рисунок 2 – Однофазный тороидальный нагревательный элемент

Таким образом, предлагаемое техническое решение позволяет интенсифицировать теплообмен за счет усиления циркуляции теплоносителя по винтообразной поверхности ребер в центральной трубке. Увеличивается путь прохождения теплоносителя по центральной трубке, поток жидкости ускоряется, возрастает прижимная сила.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Белавин, Ю.А. Трубчатые электрические нагреватели и установки с их применением / Ю.А. Белавин, М.А. Евстигнеев, А.Н. Чернявский. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -160 с.

2 Кузьмин, В.М. Электронагревательные устройства трансформаторного типа / В.М. Кузьмин. -Владивосток: Дальнаука, 2001.

3 Кузьмин, В.М. Оптимизация конструкции тороидального трансформатора для нагрева воды / В.М. Кузьмин, В.А. Размыслов, Н.Н. Мельникова // Теория и расчет электромеханических систем и устройств их обеспечения: межвуз. сб. науч. тр. -Хабаровск, 1989.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформаторный нагрев, короткозамкнутая обмотка, направляющие ребра

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Карпенко Валентина Александровна соискатель ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»
Сериков Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»
Кузьмин Вячеслав Матвеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 681013, г. Комсомольск-на-Амуре, пр. Ленина, 27, ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.И. Сопов, В.В. Бирюков, А.А. Помазная, Ю.В. Аверина

SAVING ENERGY REGIME OF WORK OF SUBSTATION RECTIFIERS OF ELECTRIC TRANSPORT

«Novosibirsk state technical university»

V.I. Sopov, V.V. Biryukov, A.A. Pomaznaya, J.V. Averina

The method of calculation of technological power consumption in rectifiers for controlling of power substation was looked through. The tractional load in this method is shown as a variable quantity.

Рассмотрен метод расчёта технологических расходов энергии в выпрямительных агрегатах при регулировании мощности подстанции. Тяговая нагрузка в методе представляется случайной величиной.

Рассматривается многоагрегатная тяговая подстанция (ТП) с числом выпрямительных агрегатов (ВА) 2-4, питающая тяговую нагрузку электрических транспортных средств. ВА включает в себя трансформатор и выпрямитель с различными схемами выпрямления. Наибольшее распространение имеют схемы выпрямления шестипульсные и мостовые (схема Ларионова) или нулевые с уравнительным реактором (схема Кюблера). Двенадцатипульсные схемы выпрямления с последовательным и параллельным включением трёхфазных мостов получили применение на электрических железных дорогах. При модернизации тяговой подстанции с заменой ВА преимущество имеют двенадцатипульсные кольцевые схемы.

Для ТП электрического транспорта характерны малые коэффициенты использования K_u и загрузки K_s мощностей ВА. Статистические исследования, к примеру, для подстанций трамвая и троллейбуса показали, что средневзвешенный месячный расход активной электроэнергии составляет $M[W_a] \approx 168 \cdot 10^3$ кВт·ч, реактивной $M[W_p] \approx 69 \cdot 10^3$ кВАр ч. Средняя токовая нагрузка по стороне постоянного тока при этом составляет 491 А, а коэффициент мощности $K_{\phi} \approx 0,925$. Коэффициент использования мощности ВА не превышает 0,15. В общих технологических расходах электроэнергии при преобразовании в ВА преобладают расходы, связанные с холостым ходом трансформаторов. Это потери в стали $P_x = \Delta P_{cm}$ и намагничивания

$$Q_x = i_x \cdot S_{nm},$$

где S_{nm} – номинальная мощность трансформатора.

Улучшить энергетические показатели ВА возможно за счёт повышения коэффициента

загрузки; уменьшением времени включения, что достигается регулированием мощности ТП. В этом случае число включённых ВА определяется тяговой нагрузкой.

Существуют различные методы оценки технологических расходов энергии в ВА [1]. В большей части они основаны на некоторых усреднённых, как правило, детерминированных графиках нагрузок. В реальных условиях графики нагрузок являются вероятностными.

Приведённую активную мощность технологических расходов энергии в ВА (далее мощность потерь) определяют по формуле

$$\Delta P_{np} = a \cdot I_d^2 + b \cdot I_d + c + K_p \cdot Q_d, \quad (1)$$

где a, b, c – коэффициенты уравнения потерь;

K_p – эквивалент реактивной мощности, кВт/кВА;

I_d – выпрямленный ток на выходных зажимах, ВА;

Q_d – реактивная мощность при токе I_d .

Коэффициенты в уравнении потерь зависят от параметров трансформатора, силовых полупроводниковых приборов (СПП – диоды, далее вентили) и определяются по формулам:

$$a = \frac{P_k}{I_{дн(m)}^2} + q \cdot \frac{P}{n_1} \cdot \frac{K_c}{K_{cx.e}^2}, \text{ Ом}; \quad b = q \cdot p \cdot U_0 \cdot \frac{1}{K_{cx.e}}, \text{ В}; \quad c = P_x + P_{cнe}, \text{ Вт}, \quad (2)$$

где q – число фаз вентильной обмотки (плеч выпрямителя);

p, n – число последовательно и параллельно включённых вентилях в плече выпрямителя;

K_c – коэффициент скважности;

β – период открытого состояния вентиля, равный $\beta = 120^\circ$ при шестипульсных схемах выпрямления;

$K_{cx.e}$ – коэффициент схемы мгновенный, равный $K_{cx.e} = 2$ в параллельных и $K_{cx.e} = 1$ в последовательных (мостовых) схемах;

P_k – мощность потерь в опыте короткого замыкания (мощность потерь в обмотках трансформатора);

$P_{cнe}$ – мощность собственных нужд выпрямителя.

Для определения мощности потерь энергии в ВА при регулировании мощности примем условия:

– распределение вероятностей тяговой нагрузки ТП соответствует неполной гамма-функции (гамма-распределению) [2];

– условия регулирования идеальные, то есть переключение ВА происходит в момент достижения нагрузкой тока уставки регулирования.

В реальных условиях принятие идеального регулирования будет приводить к незначительному занижению потерь мощности в случае неравноценных уставок по времени на включение и отключение очередного ВА. В реальных условиях эти выдержки примерно одинаковы, а поэтому условие идеальности регулирования может быть вполне приемлемым.

Уставки регулирования по активной энергии определяются из условия равенства мощности потерь в K и $K+1$ включённых ВА:

$$\Delta P_K = \frac{a}{K} \cdot I_d^2 + b \cdot I_d + K \cdot c; \quad \Delta P_{K+1} = \frac{a}{K+1} \cdot I_d^2 + b \cdot I_d + (K+1)c. \quad (3)$$

Из равенства $\Delta P_K = \Delta P_{K+1}$ найдём уставку регулирования

$$I'_d = I_{K,K+1} = \sqrt{\frac{c}{a} K(K+1)}. \quad (4)$$

Для дальнейших выводов и упрощения представлений формул примем систему относительных единиц. Все токи (i) будем рассматривать отнесёнными к средней нагрузке подстанции (i_0).

В этом случае текущее значение тока $i = i/i_0$, коэффициент эффективности тока

$$K_\vartheta = i_{\vartheta} = i_\vartheta / i_0,$$

где i_ϑ – среднеквадратичный (эффективный) ток подстанции.

Дисперсия тока подстанции

$$D[i.] = \sigma^2 = i_{\vartheta}^2 - 1 = K_\vartheta^2 - 1.$$

Уставки регулирования в относительных токах

$$i_{1,2} = \frac{I_{1,2}}{I_0}, \dots, i_{K,K+1} = \frac{I_{K,K+1}}{I_0}, \dots, i_{N-1,N} = \frac{I_{N-1,N}}{I},$$

где N – число ВА на ТП.

Параметр гамма-распределения и функция распределения получают вид [2]:

$$m = \frac{1}{K_3^2 - 1} = \frac{1}{D[i_*]} = \frac{1}{\sigma^2}; \quad (5)$$

$$F(i_*) = \frac{m^m}{\Gamma(m)} \cdot \int_0^{\infty} i_*^{m-1} \cdot \exp(-mi_*) di_*.$$

Уравнение мощности потерь в относительных единицах:

$$\begin{aligned} \Delta P &= a' \cdot i_*^2 + b' \cdot i_* + c; \\ a' &= a \cdot i_0^2; \\ b' &= b \cdot i_0, \end{aligned} \quad (6)$$

На рисунке показаны два типа расчётных графиков, где по координатам $I_{K,K+1}$ выделены зоны работы K ВА. Усреднённую мощность потерь на участках, заключённых между уставками регулирования, можно найти как математическое ожидание случайного аргумента, с дифференциальным законом распределения $f(i_*)$.

В соответствии с этим для любого участка $i_{k-1,k} \div i_{k,k+1}$ можно записать

$$\Delta P_{0K} = \int_{i_{k-1,k}}^{i_{k,k+1}} \left[\frac{a'}{K^2} i_*^2 + b' i_* + c \right] \frac{m^m}{\Gamma(m)} i_*^{m-1} \exp(-mi_*) di_*. \quad (7)$$

Если записать (7) для участков $0 - i_{1,2}, i_{1,2} - i_{2,3}, \dots, i_{N-1,N} - \infty$ и провести операцию интегрирования и суммирования, то для мощности потерь, связанной с квадратом тока получим

$$\Delta P_{0a\Sigma} = \frac{a' \cdot K_3^2}{N} \left[N \cdot \sum_{K=1}^{N-1} \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{K+1} \right) F(mi_{K,K+1}; m+2) + 1 \right]. \quad (8)$$

Для суммарных потерь, связанных с током в первой степени также получим

$$\Delta P_{0b\Sigma} = b'. \quad (9)$$

Для суммарных потерь, связанных с коэффициентом c

$$\Delta P_{0c\Sigma} = c \cdot \left[N - \sum_{K=1}^{N-1} F(mi_{K,K+1}; m) \right]. \quad (10)$$

Не сложно видеть, что выражения заключённые в квадратных скобках в (8) и (10) есть не что иное как коэффициенты связанные с регулированием числа включённых ВА:

$$K_{apu} = N \cdot \sum_{K=1}^{N-1} \left(\frac{1}{K} - \frac{1}{K+1} \right) \cdot F(mi_{K,K+1}; m+2) + 1; \quad K_{cпу} = N - \sum_{K=1}^{N-1} F(mi_{K,K+1}; m). \quad (11)$$

В формулах (11) значения неполной гамма-функции можно найти по таблицам [3]. При $N=1$ $K_{apu} = 1$ и $K_{cпу} = 1$, при N постоянно включенных ВА $K_{apu} = 1$ и $K_{cпу} = N$.

Для средней мощности потерь энергии в ВА расчётная формула будет иметь вид

$$\Delta P_0 = \frac{a \cdot I_0^2 \cdot K_3^2}{N} \cdot K_{apu} + b \cdot I_0 + c \cdot K_{cпу}. \quad (12)$$

В отличие от применяющихся ранее методов формула (12) имеет физический смысл, полностью учитывает реальные графики нагрузок.

Для проверки достоверности рассмотренного метода были проведены сравнительные расчёты суточных потерь электроэнергии по графикам нагрузок, записанных самопишущими приборами при регулировании мощности ТП и формулам (11), (12). Результаты расчётов для одного типа ВА ТП железнодорожного транспорта приведены в таблице.

В целом сравнительные расчёты по большому числу графиков нагрузок показали, что

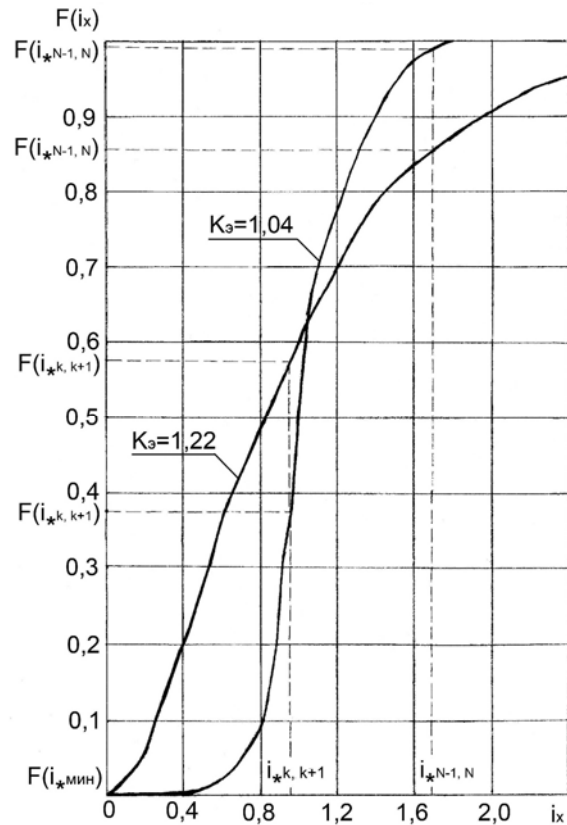


Рисунок – Расчётные графики нагрузок

расхождения не превышают 10%. Это удовлетворительно для такого рода расчётов.

Сравнение потерь энергии в режимах работы ВА, постоянно N -включённых, и регулировании их числа в зависимости от нагрузок позволяет уменьшить технологические расходы на преобразование энергии в зависимости от типа графика нагрузок и оборудования на 15-25%.

Таблица – Показатели суммарных потерь электроэнергии

Параметры графика нагрузок		Суточные потери электроэнергии	
I_0, A	$K_э$	по графику	по формулам (11), (12)
1510	1,04	4220	4260
1150	1,15	3387	3320
885	1,10	2478	2500

Выводы: Предложенные методы оценки технологических расходов электроэнергии в ВА с учётом регулирования мощности вполне применима в инженерной практике; могут использоваться при планировании и нормировании расходов энергии, решения выбора уставок регулирования мощности, выбора устройств компенсации реактивной мощности.

Регулирование мощности ТП позволяет снизить на 15-20% технологические расходы энергии при большей загрузке ВА и уменьшения времени включения ВА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шляпошников, Б.М. Игнитронные выпрямители / Б.М. Шляпошников. -М.: Трансжелдориздат, 1947. -735 с.
- 2 Сопов, В.И. Характер распределения тяговых нагрузок подстанций постоянного тока / В.И. Сопов // Труды ОМИИТ. -Томск, 1968. -Т.93. -С. 18-25.
- 3 Пагурова, В.И. Таблицы неполной гамма-функции / В.И. Пагурова. -М.: ВЦ АН СССР, 1963. -250 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяговая подстанция, выпрямительный агрегат, расход электроэнергии, активная мощность, реактивная мощность, регулирование мощности, случайная величина*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Сопов Валентин Иванович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Бирюков Валерий Викторович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Помазная Анна Александровна, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Аверина Юлия Викторовна, магистрант ГОУ ВПО «НГТУ»
630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

КЛАССИФИКАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.С. Циркин

POWER SIGNAL DISTURBANCE CLASSIFICATION IN THE RAILROAD SYSTEM USING WAVELET TRANSFORM AND NEURAL NETWORKS

«Omsk state transport university»
V.S. Tsirkin

The power signal disturbances are detected using discrete wavelet transform and categorized using neural networks.

Искажения электрических сигналов определяются с помощью дискретного вейвлет-преобразования и классифицируются путем использования нейронных сетей.

Известно, что одним из основных вопросов интересующих потребителей электроэнергии является качество. Низкое качество электроэнергии может привести к сбоям, ошибкам, нарушению корректного функционирования, неустойчивости работы, сокращению срока службы объекта. Возмущения, снижающие качество электроэнергии, могут возникать как при передаче, так и при распределении электроэнергии. Из-за значительной протяженности линии электропередачи подвержены воздействию атмосферных явлений. Различные виды разрядов атмосферного электричества являются причинами различных типов возмущений, бросков, посадок сетевого напряжения, полного прекращения подачи электроэнергии. Другие виды возмущений возникают в процессе управления сетью, при сбросах или неожиданных нарастаниях нагрузки, которые зачастую являются следствием аварий. К основным искажениям, происходящим в электросетях можно отнести: импульсы, провалы, выбросы,

мгновенные прерывания, кратковременное падение/нарастание напряжения, гармонические искажения. Все вышеперечисленные факторы могут привести к отказам и выходу оборудования из строя.

Железнодорожный транспорт является одним из наиболее сложных электротехнических комплексов с точки зрения оценки динамики протекающих в нем процессов, которые являются нестационарными. Такие нестационарные процессы (электрические, механические, электромагнитные и др.) вызваны работой элементов железнодорожного комплекса, а также случайными явлениями, связанными с эксплуатацией электроподвижного состава. Анализ особенностей электрических процессов показывает наличие факторов, которые снижают эффективность и качество функционирования всех звеньев этого сложного комплекса. К таким факторам относятся: отклонения токов и напряжений от номинальных значений, резкие изменения тока нагрузки, импульсы перенапряжений, возникающие при коммутационных процессах в питающей сети и силовых цепях электроподвижного состава и др. Существование этих факторов требует разработки новых методов исследования, диагностики и классификации [1].

Для того чтобы повысить качество электроэнергии необходимо иметь возможность точного определения типа искажения, произошедшего в электросети. Достижения в области цифровой обработки сигналов и искусственного интеллекта позволяют создавать автоматизированные системы классификации искажений и неисправностей в электросетях [2]. В качестве математического аппарата для фиксации времени возникновения и получения частотных характеристик искажений используется дискретное вейвлет-преобразование (ДВП). Полученные коэффициенты подаются на вход нейросети. Однако такой подход требует значительных ресурсов памяти и длительного времени на обучение нейросети. Поэтому наряду с кратномасштабным анализом используются методы статистической обработки коэффициентов ДВП для анализа характеристик искаженного сигнала на различных частотах и различном разрешении. Для классификации искажений используется вероятностная нейронная сеть. Обучение данного вида нейронной сети происходит достаточно быстро. Перед проведением вейвлет-преобразования необходимо сгенерировать перечисленные выше типы искажений.

Вейвлет-преобразование. Важной особенностью поведения сложных динамических систем является существенная нестационарность, вплоть до хаотичности порождаемых ими сигналов. Традиционный подход, основанный на преобразовании Фурье, оказывается неэффективным, ввиду того что спектр сигнала меняется с течением времени. Для спектрального анализа нестационарных сигналов может быть применено вейвлет-преобразование.

Вейвлет-преобразование переводит сигнал в частотно-временную область. Кратномасштабный анализ производит обработку сигнала на различных частотах и различном разрешении одновременно. Данный анализ позволяет получить хорошее разрешение по времени (плохое по частоте) на высоких частотах и хорошее разрешение по частоте (плохое по времени) на низких частотах, а также является эффективным, так как большинство исследуемых энергетических сигналов имеют высокочастотные компоненты короткой длительности и протяженные низкочастотные компоненты.

Основным инструментом для анализа сигналов является ДВП, которое обеспечивает достаточно информации для анализа сигнала, являясь вместе с тем экономным как по числу операций, так и по требуемой памяти. ДВП является аналогом непрерывного вейвлет-преобразования (НВП). НВП непрерывного исследуемого сигнала $x(t)$:

$$CWT_{\psi} x(a,b) = \int_{-\alpha}^{\alpha} x(t) \psi_{a,b}^*(t) dt; \quad a,b \in R; \quad a \neq 0; \quad (1)$$

$$\psi_{a,b}^*(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi^* \left(\frac{t-b}{a} \right) \quad (2)$$

где $\psi_{a,b}^*(t)$ – комплексно сопряженная, масштабирующая, двухпараметрическая функция материнский вейвлет.

Параметр a определяет масштаб вейвлета, малые значения параметра a соответствуют высоким частотам или очень мелкому масштабу $\psi_{a,b}(t)$; большие значения параметра a соответствуют малым частотам или большому масштабу $\psi_{a,b}(t)$. Параметр b задает положение центра временной локализации вейвлета и называется сдвигом. ДВП дискретного

сигнала x_k представляется в виде:

$$DWT_{\psi} x(m, n) = \sum_k x_k \psi_{m,n}^*(k); \quad (3)$$

$$\psi_{m,n}^*(k) = \frac{1}{\sqrt{a_0^m}} \psi^* \left(\frac{k - nb_0 a_0^m}{a_0^m} \right). \quad (4)$$

Оба параметра: масштабирующий a_0^m и сдвига $nb_0 a_0^m$ являются функциями параметра m , где m -это масштабирующее число, а n -число дискретизации, $m = 0, 1, 2, \dots$. Вейвлет-коэффициенты можно вычислить с помощью итерационной процедуры известной как быстрое вейвлет-преобразование (БВП) (представлено на рисунке 1), которое осуществляется путем декомпозиции сигнала с помощью блока фильтров: низкочастотного фильтра $h(n)$ и высокочастотного фильтра $g(n)$ [3].

Таким образом, после проведения БВП искаженный сигнал представляется набором коэффициентов, которые различаются в зависимости от типа искажения. Существует большое количество материнских вейвлетов, которые могут быть применены для решения поставленной задачи. В качестве материнского вейвлета выбран вейвлет Добеши 4-го порядка [4].

Как было отмечено в начале статьи, перед проведением вейвлет-анализа необходимо сгенерировать все возможные типы искажений, а также чистый синусоидальный сигнал. В результате, после проведения БВП каждый сигнал характеризуется коэффициентами аппроксимации и деталей.

Получив коэффициенты аппроксимации и деталей необходимо провести их статистический анализ. В результате статистической обработки находится плотность распределения вероятностей. Если f это плотность распределения вероятностей (ПРВ) для переменной X , тогда кумулятивная функция распределения (КФР) F может быть получена

$$F(x) = P(X \leq x) = \int_{-\infty}^x f(t) dt. \quad (5)$$

Декомпозиция сигнала на аппроксимацию и детали (рисунок 1) происходит на 2 уровнях. С помощью полученных таким образом коэффициентов аппроксимации и деталей определяются следующие характеристики исследуемого сигнала:

- квадрат коэффициентов аппроксимации первого уровня;
- плотность распределения вероятностей коэффициентов аппроксимации на 2-х уровнях;
- кумулятивная функция распределения коэффициентов деталей на 2-х уровнях.

Нейронная сеть. Большинство существующих классификаторов обладают низкой производительностью, поэтому в данной статье для решения задачи анализа неисправностей используется нейронная сеть, обладающая рядом преимуществ, такими как возможность работы с неопределенной, избыточной, искаженной информацией. Помимо этого в случае изменения параметров электрической сети нейронная сеть способна подстроиться под новые параметры. Для этого её необходимо заново обучить. Искусственная нейронная сеть обладает высоким быстродействием. Для анализа полученных в результате ДВП данных предлагается использовать соревновательную нейронную сеть с квантованием обучающего вектора. В качестве входных величин для работы и обучения используются 5 характеристик исследуемого сигнала: квадрат коэффициентов аппроксимации 1-го уровня, ПРВ коэффициентов аппроксимации на 2-х уровнях, КФР коэффициентов деталей на 2-х уровнях. В качестве выходных нейронов используются исследуемые искажения, а также чистый синусоидаль-

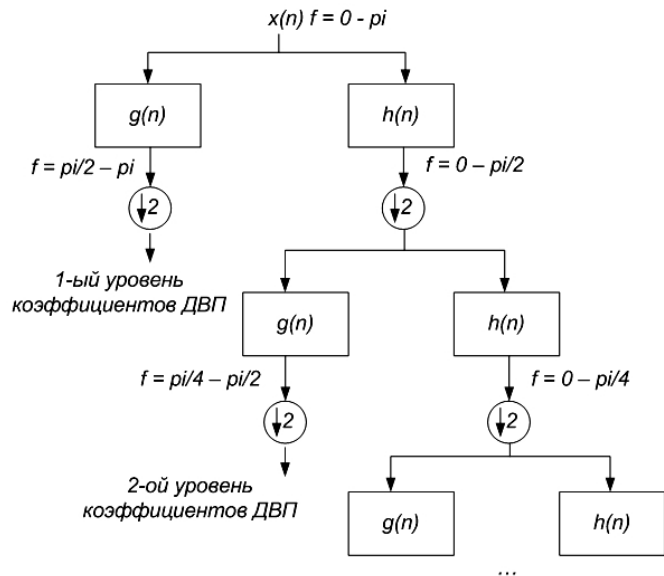


Рисунок 1 – Алгоритм быстрого вейвлет-преобразования

ный сигнал.

Заключение. В данной статье был предложен метод для классификации искажений сигналов. Этот метод основан на применении ДВП, статистической обработке коэффициентов ДВП и анализа полученных данных с помощью нейронной сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Филипп, В.Б. Вейвлет-анализ как метод оценки нестационарных процессов в электро-транспортном комплексе / В.Б. Филипп, Н.И. Щуров // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№1. -С. 267-270.

2 Power signal disturbance classification using wavelet based neural network // Serbian J. of Electrical Eng. -2007. -Vol.4, №1. -Р. 71-83.

3 Смоленцев, Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н.К. Смоленцев. - М.: ДМК Пресс, 2005. -304 с.

4 Добеши, И. Десять лекций по вейвлетам / И. Добеши; под. ред. А.П. Петухова; пер. с англ. Е.В. Мищенко. -Ижевск: РХД, 2001. -464 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *искажения электрических сигналов, дискретное вейвлет-преобразование, кратномасштабный анализ, нейронная сеть*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Циркин Виталий Степанович, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.Ю. Мацько

USING THE SPECTRAL-TEMPORAL ANALYSIS FOR CONTROL SYSTEMS, ELECTRICAL RAILWAYS DIRECT CURRENT

«Omsk state transport university»

I.Yu. Matsko

We consider the use of spectral-temporal analysis for the diagnosis of electric power systems of railways direct current.

Рассматривается использование спектрально-временного анализа для диагностики работы систем электроснабжения железных дорог постоянного тока.

В настоящее время проявляется всё больший интерес к разработке и внедрению средств технической диагностики электрических комплексов на тяговых подстанциях постоянного тока железнодорожного транспорта. Применение диагностических устройств позволяет производить мониторинг и диагностику оборудования и перейти с обслуживания и ремонта оборудования по регламенту на ремонт и обслуживания по техническому состоянию, что повысит экономическую эффективность его использования.

В программном продукте Matlab 7.0 была построена модель системы электроснабжения постоянного тока электрифицированных железных дорог. В модели используется шести-пульсовая выпрямительная установка, выполненная по схеме Ларионова.

При помощи данной модели было выполнено моделирование сигнала при нормальном режиме работы выпрямительной установки и двух режимах аномальной работы:

- обрыв на одном плече моста выпрямления;
- короткое замыкание на одном плече моста выпрямления.

С каждым из трех режимов работы выпрямительной установки смоделирована ситуация, когда входной сигнал имеет следующие особенности:

- нормальный входной сигнал без искажений;
- несимметрия входного сигнала в 5%, 10%, 15%;
- несинусоидальность входного сигнала в 5%, 10%, 15%;
- несимметрия и несинусоидальность входного сигнала в 5%, 10%, 15%.

Таким образом, было проведено моделирование 48 режимов работы системы электроснабжения постоянного тока электрифицированных железных дорог.

Далее представлены спектры и временные диаграммы сигнала при условии, что входной сигнал без искажений, а выпрямительная установка работает в трех режимах представленных выше.

При нормальном режиме работы трехфазного выпрямителя временная диаграмма и

спектральные характеристики выходного напряжения имеют вид, представленный на рисунках 1 и 2.

При возникновении обрыва одного из диодов трехфазного выпрямителя происходит искажение кривой выходного напряжения и спектральной характеристики, которые будут иметь вид, изображенный на рисунках 3 и 4.

Как видно из рисунка 4, спектральный состав выходного напряжения изменяется таким образом, что появляются 1, 2, 3 и 4 гармоники. Задав уровень значимости, определяемый экспериментальным путем, можно определить наличие дефекта диода типа «обрыв». Сравнивая временные диаграммы входных и выходного напряжений и определяя положение провала выходного напряжения относительно кривых фазных входных напряжений, можно определить неисправный диод.

При возникновении короткого замыкания одного из диодов трехфазного выпрямителя происходит искажение кривой выходного напряжения и спектральной характеристики, которые будут иметь вид, представленный на рисунках 5 и 6.

Как видно из рисунка 6, спектральный состав выходного напряжения изменяется таким образом, что появляются 1, 2, 3 и 4 гармоники. Задав уровень значимости, определяемый экспериментальным путем, можно определить наличие дефекта диода типа «короткое замыкание». Сравнивая временные диаграммы входных и выходного напряжений и определяя положение провала выходного напряжения относительно кривых фазных входных напряжений, можно определить неисправный диод.

При анализе данных спектральных составов выходного напряжения видно, что при возникновении аномальных

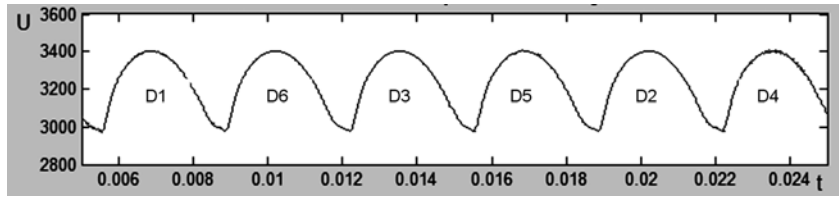


Рисунок 1 – Временные диаграммы выходного напряжения трехфазного выпрямителя и его спектр

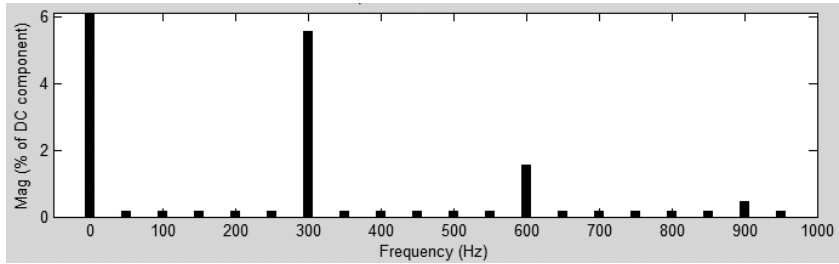


Рисунок 2 – Спектральная характеристика выходного напряжения при нормальном режиме работы

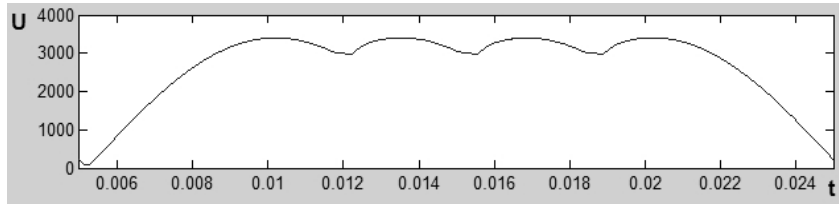


Рисунок 3 – Временная диаграмма выходного напряжения при обрыве одного из диодов

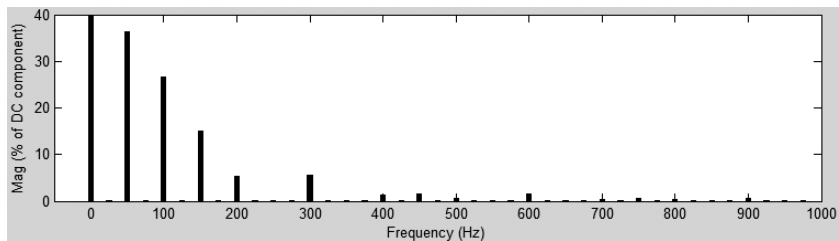


Рисунок 4 – Спектральная характеристика выходного напряжения при обрыве одного из диодов

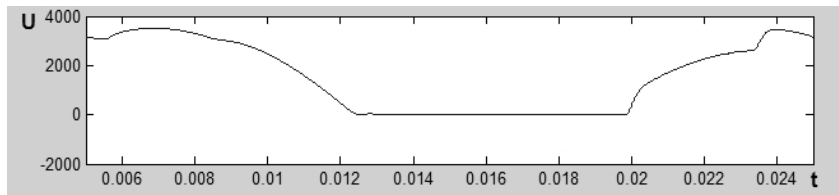


Рисунок 5 – Временная диаграмма выходного напряжения при коротком замыкании одного из диодов

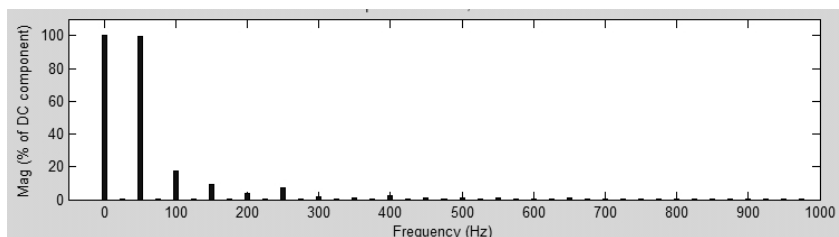


Рисунок 6 – Спектральная характеристика выходного напряжения при коротком замыкании одного из диодов

режимов работы выпрямительной установки наиболее сильно изменяются гармоники с первой по шестую. Поэтому данные гармоники и будут участвовать в дальнейшем анализе.

Такие искажения входного сигнала как несимметрия и несинусоидальность так же влияют на спектральный состав выходного напряжения. Из проделанных опытов были построены зависимости влияния явлений несимметрии и несинусоидальности входного напряжения на спектральный состав выходного напряжения.

На рисунке 7 представлена зависимость амплитуд гармоник спектрального состава выходного напряжения от процента несимметрии входного сигнала при нормальном режиме работы выпрямительной установки.

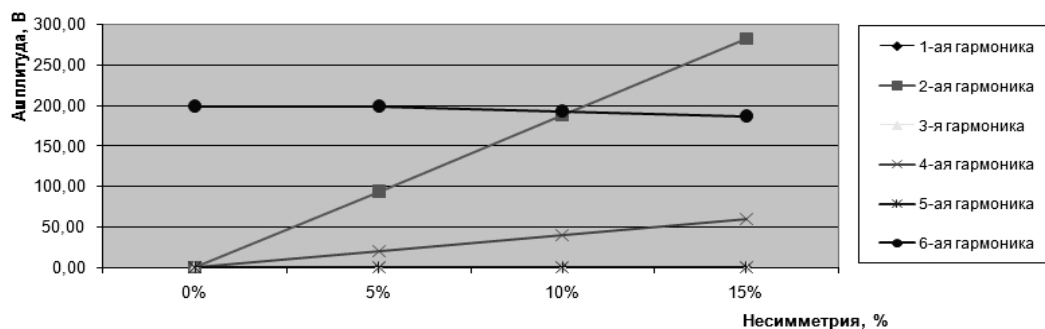


Рисунок 7 – Зависимость амплитуд гармоник спектрального состава выходного напряжения от процента несимметрии входного сигнала при нормальном режиме работы выпрямительной установки

Из данной диаграммы видно, что с увеличением процента несимметрии входного сигнала увеличивается амплитуда 2-ой и 4-ой гармоник.

На рисунке 8 представлена зависимость амплитуд гармоник спектрального состава выходного напряжения от процента несинусоидальности входного сигнала при нормальном режиме работы выпрямительной установки. На данной диаграмме, так же как и на предыдущей амплитуды 2-ой и 4-ой гармоник увеличиваются с увеличением процента несинусоидальности входного сигнала. Изменения амплитуд остальных гармоник минимальны.

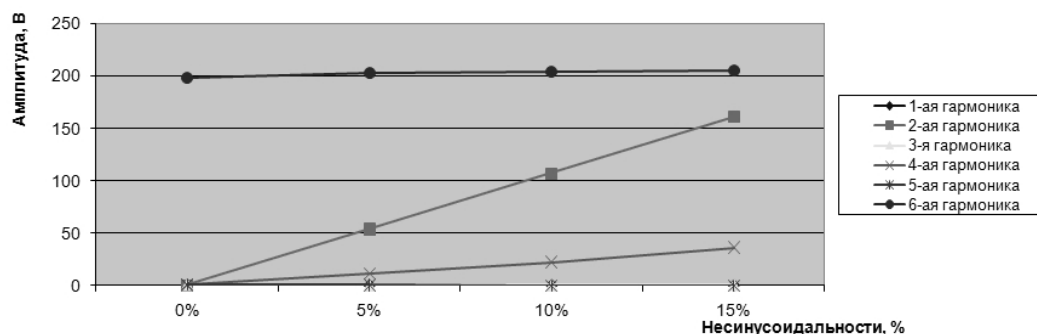


Рисунок 8 – Зависимость амплитуд гармоник спектрального состава выходного напряжения от процента несинусоидальности входного сигнала при нормальном режиме работы выпрямительной установки

Таким образом, учитывая изменения амплитуд гармоник спектрального состава выходного напряжения при некачественном входном сигнале с присутствием несимметрии и несинусоидальности при помощи спектрально-временного анализа можно с точностью определить неисправное плечо моста выпрямления и вид его дефекта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бадер, М.П. Электромагнитная совместимость: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / М.П. Бадер. -М.: УМК МПС, 2002.
- 2 Двенадцатипульсовые полупроводниковые выпрямители тяговых подстанций: произв.-практ. изд. / ред. М.Г. Шалимов. -М.: Транспорт, 1990. -127 с.
- 3 Черных, И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPower

Systems и SimuLink / И.В. Черных. -М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. -288 с. : ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: спектрально-временной анализ, контроль работы систем электроснабжения постоянного тока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Мацько Илья Юрьевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

РЕЗЕРВНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА ЛИНИЙ ОРУ 330-750 кВ

«Павлодарский государственный университет им. С. Торайгырова»
ГОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

М.Я. Клецель, А.С. Стинский, К.Т. Шахаев, К.И. Никитин

**THE DIRECTED CURRENT RESERVE PROTECTION FOR LINES OF ODD (OPEN DISTRIBUTING DEVICE) 330-750 KV
MODELLING OF DETERMINED CHAOS MODES IN ELECTRIC POWER SYSTEMS**

«Pavlodar state university of S. Toraigyrov»

«Omsk state technical university»

M.Ya. Klecel, A.S. Stinsky, K.T. Shakhaev, K.I. Nikitin

The protection for lines is offered, the logic part is created on the analysis of the information from the protection (them measuring devices) of all ODD 330-750 kV connections. In article is offered algorithm and realization.

Предлагается защита линий, логическая часть которой построена на основе анализа информации о поведении измерительных органов защит всех присоединений ОРУ 330-750 кВ. Представлены алгоритм действия и реализация.

Актуальность проблемы. Одной из причин многих аварий в электроэнергетических системах мира, в том числе и техногенных, является недостаточная надёжность релейной защиты. Значительного повышения её надёжности можно добиться с помощью мажорирования (команда на отключение подаётся при срабатывании двух из трёх дублирующих друг друга защит разного принципа действия) [1]. Для системообразующих линий полноценное мажорирование затрудняется, в основном, из-за того, что в качестве их резервных защит от междуфазных замыканий применяется только [2] дистанционная защита, а от КЗ на землю – защита нулевой последовательности (ЗНП). Другие защиты на этих линиях уступают названным по чувствительности или селективности. Поэтому для использования мажорирования необходима разработка новых резервных защит или совершенствование известных. В данной работе для построения резервных защит линий ОРУ 330-750 кВ электрических станций и подстанций предлагается использовать давно известный принцип действия токовой направленной защиты, обеспечивая чувствительность и селективность за счёт переработки информации о поведении установленных в эксплуатацию традиционных защит всех присоединений.

Синтез алгоритма. Рассмотрение ведётся на примере электрической станции с двумя блоками и двумя линиями (рисунок 1). Как и в обычной направленной защите, применяемой в сетях 35 кВ и 110 кВ, разрабатываемая защита также должна срабатывать при направлении мощности (НМ) в линию. Однако здесь каждая фаза присоединения отключается двумя выключателями. Поэтому необходимо учитывать возможность отключенного состояния одного из них, а для определения НМ использовать реле направления мощности (РНМ), контролируя напряжения между фазами и ток, протекающий через каждый выключатель одной из фаз, и в случае отключения одного из них – ток в другом. Такой контроль осуществляется на линиях W1 и W2, как общепринято, с помощью конденсаторов связи (на схеме на показаны) и трансформаторов тока ТА1, ТА2 и ТА3, ТА4. Как показал анализ, условия её срабатывания по НМ, например, для линии W1 в символах алгебры логики можно записать следующим образом

$$M_{W1} = M_1^1 \cdot M_2^1 + M_1^1 \cdot a_2 + M_2^1 \cdot a_1, \quad (1)$$

где M_{W1} – сигнал о направлении мощности от блоков к линии, принимающий при этом значение логической «1», и значение «0» при обратном направлении или её отсутствии;

$M_1^1, M_1^2, M_2^1, M_2^2$ – сигналы от реле направления мощности KW1, KW2, принимающие значение «1» («0») при НМ в линию (к блокам);

a_1, a_2 – сигналы от реле фиксации положения «Откл.» выключателей Q1 и Q2, принимающие значение «1», когда выключатель включен, и «0», когда отключен.

Из-за того, что РНМ не отличается КЗ на линии W1 от режима передачи мощности её потребителям, необходимо выбирать ток I_{C31} срабатывания предлагаемой защиты (по аналогии с устройствами резервирования отказа выключателей) по следующей формуле

$$I_{C31} = 1,4 \cdot I_{H.MAKC}, \quad (2)$$

где $I_{H.MAKC}$ – максимальный ток нагрузки.

Однако, защита с I_{C31} может сработать ложно в режиме работы двумя фазами после неуспешного однофазного автоматического повторного включения

или при отключении одного из выключателей с противоположной стороны линии. Чтобы этого не случилось необходимо перестраивать уставку с I_{C31} на

$$I_{C32} = 1,2 \cdot I_{ДФ}, \quad (3)$$

где 1,2 – учитывает погрешности трансформаторов тока, расчёта и реализации;

$I_{ДФ}$ – ток (наибольший из возможных) в каждой из двух фаз при отключенной третьей.

Он зависит от сопротивлений присоединений, режима заземления нейтралей, конфигурации сети. В связи с этим, в некоторых случаях защита не будет обладать достаточной чувствительностью при работе двумя фазами. На наш взгляд, с таким недостатком можно не считаться, если учитывать, что резервируется резервная защита и этот режим длится не более трёх часов.

Чтобы не отстраиваться от токов при качаниях и от токов в неповреждённых фазах, возникающих при КЗ на землю на других присоединениях (анализ показал, что мощность при этом может быть направлена в сторону неповреждённой линии), запуск защиты осуществляется с помощью блокировки от качаний (БК), используемой в традиционных дистанционных защитах, а при КЗ на землю в сети 330-750 кВ отключение неповреждённых присоединений блокируется по сигналу от традиционной ЗНП повреждённого присоединения (всегда устанавливаемой в сетях с заземлённой нейтралью). Пусть b_1 сигнал от БК, принимающий значение «1» («0») при появлении (отсутствии) токов обратной последовательности, x_1 -сигнал на переключение уставки I_{C31} на I_{C32} рассматриваемого присоединения (W1), и B_{W1} -сигнал, запрещающий срабатывать защите на отключение линии W1, принимающий значение «1» («0») при КЗ на землю (отсутствии его) на любом из других присоединений (T1, T2, W2).

В соответствии с изложенным, условия срабатывания синтезируемой защиты на отключение выключателей одной фазы линии W1 при междуфазном или однофазном КЗ на ней запишем следующим образом (опустив предшествующую этому словесную формулировку):

$$O_{W1} = M_{W1} \cdot (\overline{x_1} \cdot T_1 + x_1 \cdot T_2) \cdot b_1 \cdot \overline{B_{W1}} \cdot A_1 \cdot D^\uparrow; \quad (4)$$

$$x_1 = \overline{T_3^A} \cdot T_3^B \cdot T_3^C + T_3^A \cdot \overline{T_3^B} \cdot T_3^C + T_3^A \cdot T_3^B \cdot \overline{T_3^C} + \dots + T_6^A \cdot T_6^B \cdot \overline{T_6^C}; \quad (5)$$

$$B_{W1} = T_{W2}^0 \cdot M_{W2}^0 + T_{T1}^0 \cdot M_{T1}^0 + T_{T2}^0 \cdot M_{T2}^0, \quad (6)$$

где A_1 – сигнал от реле фиксации положения «включено» выключателя Q1;

T_3^A, T_3^B, T_3^C (T_6^A, T_6^B, T_6^C) – сигналы о том, что величина тока в фазах линии W1 (линии W2) превосходит ток I_{XX}^{W1} (I_{XX}^{W2}) холостого хода. Их можно получить от реле KV3 (KV6) каждой фазы, которые срабатывают при напряжении, пропорциональном $I_{C33} \geq 1,3 \cdot I_{XX}^{W1}$;

$T_{W2}^0, T_{T1}^0, T_{T2}^0$ и $M_{W2}^0, M_{T1}^0, M_{T2}^0$ – сигналы о срабатывании пусковых органов (ПО) и РНМ

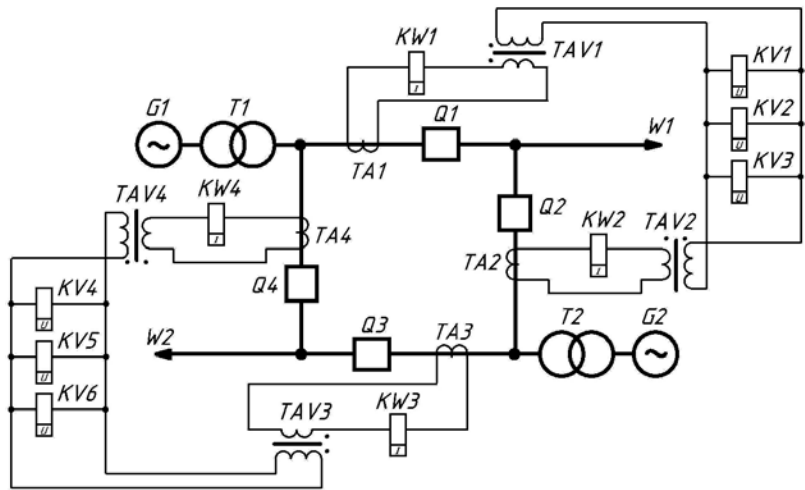


Рисунок 1 – Подключение измерительных органов в схеме четырёхугольник

защит нулевой последовательности линии W2, трансформаторов Т1, Т2 принимают значение «1» при КЗ на землю на соответствующем присоединении, и «0» при отсутствии КЗ;

D^\uparrow – оператор в формуле (4) обозначает задержку появления сигнала на время $t_{c3} = t_1 + \Delta t$,

t_1 – время работы дистанционной защиты линии W1.

Отметим, что в подавляющем большинстве случаев защита будет иметь уставку, выбираемую по (2), реагируя на минимальный ток КЗ

$$I_{КЗ.МИН} = k_{\text{Ч}} \cdot I_{C31},$$

где $k_{\text{Ч}}$ – коэффициент чувствительности (по ПУЭ минимально допустимый $k_{\text{Ч}} = 1,2$).

Учитывая (2), имеем

$$I_{КЗ.МИН} = 1,7 \cdot I_{Н.МАКС}.$$

Реализация. На рисунке 2 дан пример реализации логической части разработанной защиты [3]. Блоки 1, 2 (их структура одинакова, блоки 2, 5, 6 не показаны) выполняют функции определения НМ по (1) и блокировки от КЗ на землю по (6) для линий W1, W2. Блоки 3 (5) и 4 (6) (рисунок 2б и 2г) выполнены одинаково и действуют на отключение Q1 (Q3) и Q2 (Q4) в соответствии с (4). Блок 7 (рисунок 2б и 2д), общий для обеих линий, переключает уставки в соответствии с (5). Реле KV1 и KV2 выполняют функции токовых реле, контролирующих ток в W1 с уставками, выбираемыми по (2) и (3), соответственно.

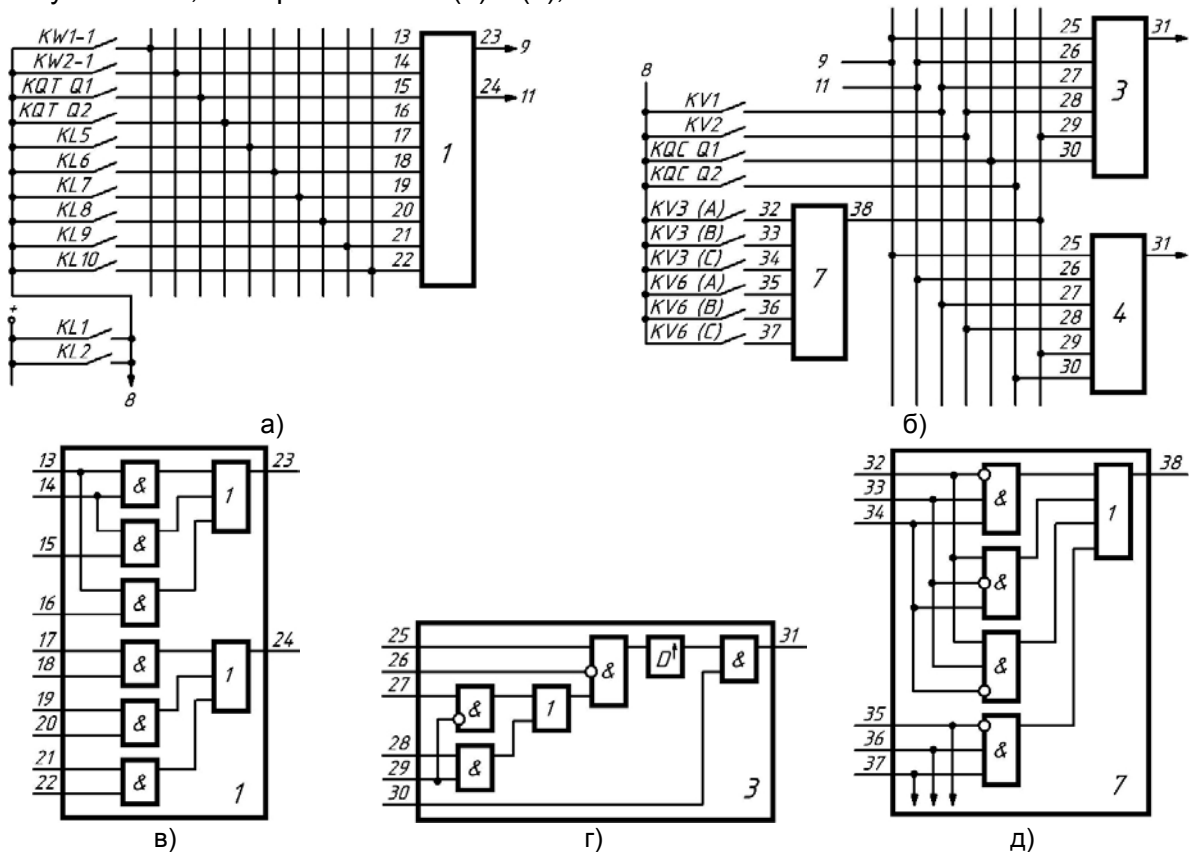


Рисунок 2 – Подключение (а, б) и структура (в-г) блоков 1, 3, 7 логики

При КЗ, например, на линии W1, подключенной через Q1 (пусть Q2 отключен), реле KV1 и KW1 срабатывают, плюс оперативного тока через реле повторитель KL1 блокировки от качаний дистанционной защиты W1 поступает в устройство. Реле KL5, KL7, KL9 и KL6, KL8, KL10 повторители ПО и РНМ традиционных ЗНП присоединений Т1, Т2, W2 не работают, и устройство не блокируется. Блок 3 даёт сигнал на отключение Q1, а на выходе блока 4 отключения Q2 сигнала нет, так как отсутствует сигнал от KQC выключателя Q2 на входе 30. Если рассматриваемое КЗ однофазное, то срабатывают ещё и реле KL3, KL4 – повторители ПО и РНМ традиционной ЗНП линии W1. Контакты KL3, KL4 подключают упомянутый блок 2, точно также, как KL9 и KL10 подключают блок 1. Поэтому на входе 24 блока 2 появляется сигнал, который передаётся на шинку 11 к блокам 5 и 6, и запрещает действие защиты на

отключение W2. При однофазном КЗ (фаза А) на линии W2 не исключается одновременное срабатывание KW1 и KA1, установленных для фаз В и С линии W1. Но ложного отключения W1 не произойдёт (рисунок 2), так как на выходе 24 блока 1, подключенного к шинке 11 (вход 26 блоков 3, 4), присутствует сигнал из-за срабатывания KL9 и KL10. В неполнофазном режиме работы W1 или W2 защита автоматически переключает уставку с I_{C31} на I_{C32} с помощью реле KV3 и KV6, снимающих сигнал с соответствующих входов, например, при отключении фазы А линии W2 со входа 35.

Проведённый нами анализ показывает, что при построении защит, аналогичных рассмотренной, для схем ОРУ шестиугольника, 3/2, 4/3 можно использовать не только методику построения, но и формулы (2)-(6), причём в (5) и (6) увеличивается количество слагаемых, а (2)-(4), как и $I_{КЗ.МИН}$, остаются точно такими же.

Вывод. Разработанная защита линии ОРУ 330-750 кВ обладает требуемой селективностью, в подавляющем большинстве случаев способна выявлять токи КЗ $I_{КЗ.МИН} \geq 1,7 \cdot I_{Н.МАКС}$, и поэтому может найти применение в качестве одной из резервных при использовании мажорирования для повышения надёжности срабатывания и несрабатывания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Федосеев, А.М. Релейная защита электроэнергетических систем: учеб. для вузов / А.М. Федосеев. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -520 с.

2 Электротехнический справочник. Т.3. Производство, передача и распределение электрической энергии. -М.: Изд-во МЭИ, 2004. -964 с.

3 Пат. 21149 Республика Казахстан, МПК Н 02 Н 7/22. Устройство защиты присоединений схемы четырёхугольника ОРУ 220-750 кВ / Клецель М.Я., Липкина С.В., Никитин К.И., Стинский А.С., Шахаев К.Т. -опубл. 26.01.2009, Бюл. №4. -13 с. : ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *токовая направленная защита, алгоритм, алгебра логики, надёжность, чувствительность, схема*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Клецель Марк Яковлевич, докт. техн. наук, профессор «Павладарский ГУ им. С.Торайгырова»*

Стинский Александр Сергеевич, канд. техн. наук, преподаватель «Павладарский ГУ им. С.Торайгырова»

Шахаев Куаныш Тулеугазыевич, аспирант «Павладарский ГУ им. С.Торайгырова»

Никитин Константин Иванович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *140008, Казахстан, г. Павлодар, ул. Ломова, 64, «Павладарский ГУ им. С.Торайгырова» 644050, г. Омск, пр. Мира, 11, ГОУ ВПО «Омский ГТУ»*

ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО ПОГРУЖЕНИЯ, ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ И В ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ РАБОТАХ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.П. Малахов, Д.Б. Бочков

THE LINEAR ELECTRIC DRIVES FOR VIBRATING IMMERSING OF BUILDING CONSTRUCTIONS, FOR ITS TAKING REMOVING AND FOR VIBRATING-SEISMIC WORKS

«Novosibirsk state technical university»

A.P. Malahov, D.B. Bochkov

The paper presents the comparative analysis of shock and vibrating immersing of building constructions. It shows the feasibility of transition to vibrating immersing equipment with linear variable frequency electric drives, coordinating devices and control methods that considerably increase technical and economic parameters of immersing processes.

Дан сравнительный анализ ударного и вибрационного погружения строительных конструкций. Показана целесообразность перехода к вибрационной погружающей технике с линейными частотно-регулируемыми электроприводами, согласующими устройствами и новыми способами управления, значительно повышающими технико-экономические показатели процессов погружения, строительных конструкций и возбуждения сейсмических волн.

В последние годы в РФ интенсивно наращиваются темпы строительных работ. Активно осваиваются северные районы с вечномёрзлыми грунтами, шельфовые зоны морей и океанов. Причём, строительство ведётся в основном на свайных фундаментах, а в северных

районах, на вечно мёрзлых грунтах, исключительно на сваях [1, 2]. Стоимость и объёмы работ при нулевом цикле по возведению фундаментов достигают 50% от всего объёма строительства. Строители же, оправдываясь сжатыми сроками строительства или же пренебрегая дороговизной нулевого цикла, идут на строительство с применением ленточных фундаментов.

Строители же, оправдываясь сжатыми сроками строительства или же пренебрегая дороговизной нулевого цикла, идут на строительство с применением ленточных фундаментов.

На морях, в шельфовых зонах, применяют технологию работ, при которой специально построенный корабль на многие тысячи тонн заполняется грунтом (щебнем) и в нужном для строительства нефтяной или сейсморазведочной платформы месте затапливается, образуя «искусственный остров». С этого острова и начинается добыча и разведка углеводородного сырья.

Такая технология строительных работ до сих пор выполняется из-за отсутствия высокопроизводительной, экологически чистой и достаточно мощной техники для погружения свай и оболочек при возведении фундаментов и при строительстве шельфовых нефтяных платформ и оснований под них. На практике [1-3] применяются различные способы, методы и машины для погружения строительных конструкций:

- ударные;
- вибрационные;
- виброударные;
- методы статического (силового) погружения;

– методы различного формирования строительных свай с предварительным бурением вертикальных выемок с дальнейшей их закладкой арматурным железом и заливкой бетоном.

Наиболее часто применяется и используется первый тип машин и способ погружения - ударный и, соответственно, ударные машины для выполнения этих работ.

Этот способ наиболее известен, прост и нагляден [4]. Здесь показано, что на том уровне техники это был единственный способ погружения свай в грунт, когда относительно небольшой массой бабы-ударника в 1000 кг можно преодолевать огромную величину сопротивления грунта, равную 126 тс (1260 кН). Эту работу можно выполнить, подняв более 2-х вагонов общей массой в 120 т и опустив их на деревянную или железобетонную сваю диаметром 0,3 м (свая СУ8 0,3×0,3 м).

Такие работы почти исключительно выполнялись штанговыми или трубчатыми дизель-молотами с массами бойков 2,5-3,5 т [1, 3].

В настоящее время взамен ранее выпускаемым дизель-молотам начали производиться гидравлические молоты типа МГш с рядом ударных масс 3, 4, 5, 7 тонн с энергиями ударов соответственно в 35, 45, 55, 75 кДж на номинальные частоты ударов 60 уд/мин (1 Гц) [5].

Применяются также и безударные технологии погружения свай и шпунта в режимах их квазистатического вдавливания [13].

В таблице приведены основные соотношения ударного процесса погружения строительной конструкции молотом с ударной массой 5 т и энергией удара 50 кДж.

Таблица – Основные соотношения ударного процесса погружения строительной конструкции молотом с ударной массой 5 т и энергией удара 50 кДж

Параметр ударного цикла	Показатель предударного процесса	Показатель процесса удара	Кратность процессов
Средние усилия ударного цикла, кН (тс)	50 (5)	1500-2500 (15-250)	30-50
Длительность процесса, с	1	0,01-0,005	100-200
Перемещение ударной массы, м	0,8-1,2	0,1-0,05	10-20
Частота, Гц	1-2	50-100	50-100
Средняя скорость якоря бойка, м/с	2-5	3-4	0,6-0,7
Средняя скорость погружения, м/мин (м/с)	–	2-3 (0,03-0,05)	–
Мощность потребляемая, кВт	70-75	6000-10000	60-100
Мощность ударная, кВт	–	50	–

Из таблицы видно, что при относительно длительном по времени предударном цикле равном 1 с, во время удара длительностью 5-10 мс развивается импульсное усилие значением более 250 тс (2500 кН) с амплитудой ударной мощности достигающей значений 6-10 МВт. Такими большими по величине импульсами силы и импульсной ударной мощности

преодолеваются большие противодействующие усилия грунта при погружении в него строительной конструкции.

На рисунке 1 приведены зависимости КПД процесса погружения в зависимости от частоты ударов и далее вибраций. Видно, что результирующий КПД процессов погружения весьма мал и составляет всего 1,5-5,0% и имеет тенденцию возрастания с увеличением частоты ударов, энергий ударов и частот вибраций, вследствие так называемого разжижения грунта при частотах 3-5 Гц.

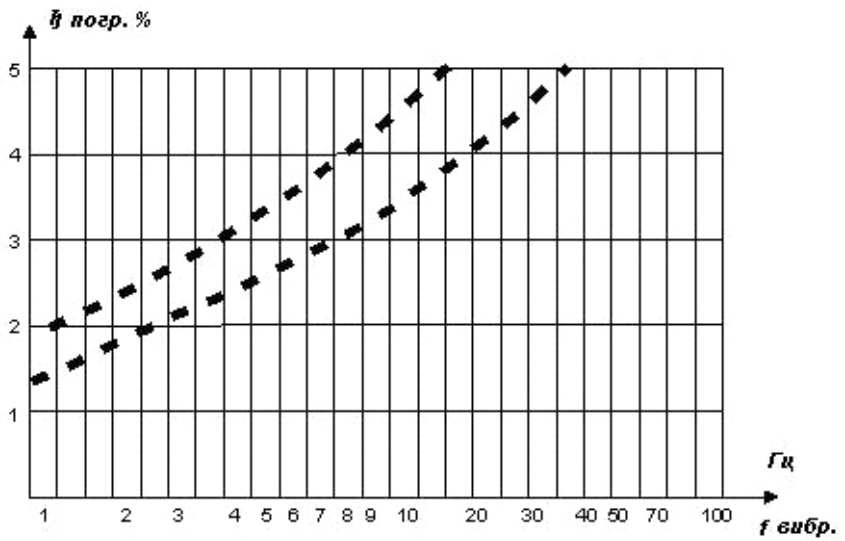


Рисунок 1 – Зависимость КПД процесса погружения строительной конструкции от частот ударов и частот вибраций

На рисунке 2 на основе анализа данных [1-3] приведены зависимости потребляемых и погружаемых механических мощностей вибропогружателей на усилие 500 тс (5 МН) и 1000 тс (10 МН) при средней скорости погружения на частоте 7,5 Гц. Из рисунка 2 видна необходимость перехода от ударных технологий погружения к вибрационным.

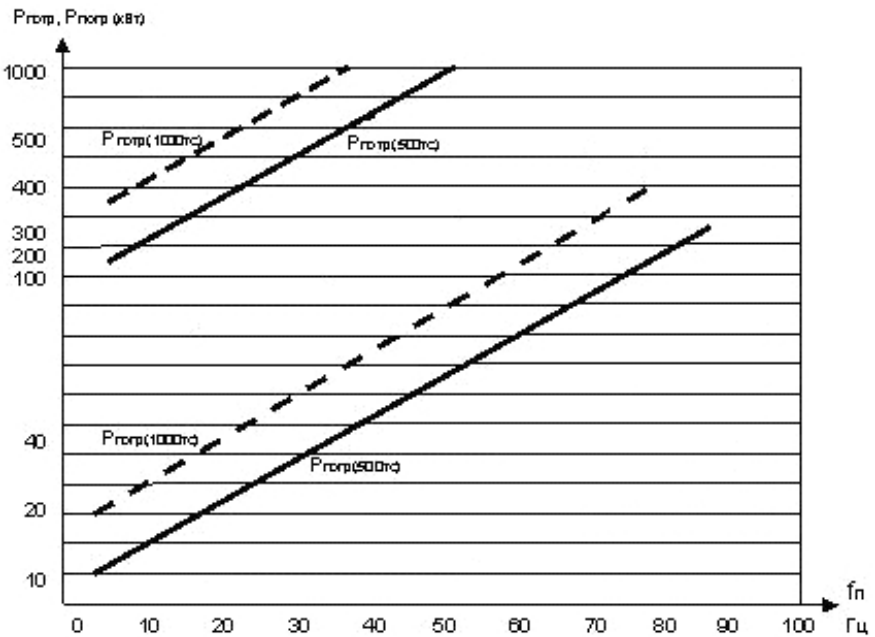


Рисунок 2 – Зависимости потребляемых и погружаемых механических мощностей вибропогружателей на усилие 500 тс (5 МН) и 1000 тс (10 МН) при скоростях погружения 0,2 м/мин. (3,3·10⁻³ м/с) на частоте 7,5 Гц

Применение линейных электрических машин ударного действия с однократным преобразованием электрической энергии [6-8] в мощных электромолотах, с массами бойков ряда 10, 20, 40 и 80 т даст и повышение общего КПД энергопреобразования и уменьшит стоимость машин при серийном производстве.

Как видно из приведённой таблицы и рисунка 1 необходим переход к

более высокочастотной вибрационной технике погружения. Но выпускающиеся в настоящее время вибропогружатели отечественного и иностранного производства основаны на весьма неэкономичном принципе создания вибрационных усилий – применяется так называемый дебалансный (центробежный) принцип создания усилий двух дебалансов вращающихся двигателями синхронно и синфазно в разные стороны. Создаваемое усилие, например, в вертикальном направлении подчиняется закону

$$F_{\Sigma} = 2 \cdot m \cdot r \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t ,$$

- где m – масса одного дебаланса, кг;
- r – радиус центра масс дебалансов, м;
- ω – круговая частота дебалансов, рад/с.

В этих вибраторах, особенно, работающих на малых частотах 7-10 Гц массы дебалансов имеют значительные величины и между валом двигателя, системой его электропитания и валами полумодулей циркулируют значительные по величинам реактивные энергии в соответствии с выражениями:

$$W_{1,2} = \frac{J\omega^2}{2} \sin^2 \omega t; W_{3,4} = \frac{mV^2}{2} \sin^2 \omega t,$$

где J – суммарные моменты инерций якорей приводных электродвигателей и дебалансных масс, кг·м²;

m – суммарные массы дебалансов, кг;

V – амплитуда скоростей этих дебалансов в вертикальном направлении (м/с) относительно центров их вращения с величиной эксцентриситета дебалансов r (м).

Выполнение силовых камер в виде эксцентриковых вибровозбудителей [9] генерирующих усилия в соответствии с соотношением

$$F = m \cdot \delta \cdot \omega^2 \cdot \sin \omega t,$$

где m – масса возвратно-поступательно перемещающейся массы (кг) относительно приводного вала имеющего эксцентрик величиной δ (м);

Исключается энергия вращающихся масс дебалансов, но остаётся реактивная энергия возвратно-поступательно перемещающихся масс связанных с эксцентриком.

Те и другие возбудители колебаний в силу их принципа действия имеют крайне малый механический $\cos \varphi$, из-за того что угол между создаваемой ими возбуждаемой силой и скоростью перемещения инертной массы практически равен 90°, а $\cos \varphi \approx 0$.

Для исключения циркуляции реактивной энергии в этих вибраторах дебалансные или инертные массы делятся на две [10] и сдвигаются в пространстве между собой на 90° и на ±45° относительно направления создаваемого усилия. В этом случае одна полумасса движется со скоростью по закону $\sin^2 \omega t = (1 - \cos 2\omega t)/2$, а другая по закону $\sin^2 (\omega t + 90) = \cos 2\omega t = (1 + \cos 2\omega t)/2$, то есть реактивные энергии, ранее циркулирующие между валом двигателя и вибратором с двойной частотой, теперь замыкаются между этими двумя массами и компенсируют друг друга. Повышается коэффициент мощности вибратора и вместо $\cos 90^\circ = 0$ он становится равным $\cos 45^\circ = 0,707$, что многократно улучшает энергетические характеристики вибраторов.

Однако и значительное улучшение энергетических характеристик вибратора не устраняет другие присущие ему отрицательные качества. Так для вращательных систем это необходимость установки подшипников, работающих при больших оборотах и при усилиях 500-1000 тс (5-10 МН). Установка таких подшипников на максимальные параметры приводит к большим потерям на трение, увеличивает габариты вибраторов и ухудшает их энергетические характеристики.

Практически полностью избавиться от выше перечисленных отрицательных характеристик электромеханических вибраторов с вращательным движением рабочих органов позволяет переход к вибраторам с линейными электродвигателями с широтно-импульсным способом управления [10, 11].

Применение этого способа формирования вибрационных усилий, как и в силовой промышленной электронике или силовых частотно-регулируемых электроприводах, позволяет создавать вибросистемы с $\cos \varphi \approx 1$ ($\varphi \approx 0$), что значительно (на порядки) повышает КПД вибромеханических систем и однозначно ведёт к значительному повышению производительности их работы при погружении и извлечении строительных конструкций.

Виброисточники и сейсмоисточники могут строиться на электродинамическом принципе работы [12], с линейными машинами постоянного или переменного тока (синхронными, вентильными, редукторными).

Вид такой сваепогружающей и извлекающей установки приведен на рисунке 3. Установка состоит из копровой базовой машины, на которой подвижно на стреле навешен погружатель с массой пригруза M_n , виброизолятор (ВИ), генератор вертикально направленных знакопеременных силовых импульсов (ГИ). Необходимым элементом такой механической системы является механико-гидравлический трансформатор усилий (ГТУ), подключенный к специальному гидрогазовому аккумулятору, который питает также гидрозажим погружаемой сваи с наголовником вибропогружателя.

Коэффициент трансформации усилия и перемещения якоря линейной машины должен быть не менее 10 и тогда при реальных перемещениях якоря линейного электродвигателя в 40-60 мм или эксцентриковых вибровозбудителей и формируемых усилиях на величины 50-100 тс (0,5-1 кН), усилие на сваю или оболочку будет формироваться до требуемых величин 500-1000 тс (5-10 кН).

Вибропогружатель должен быть регулируемым по частоте импульсов воздействия, по амплитуде, ширине и количеству импульсов на полупериоде и поэтому должен питаться от частотно-регулируемого электропривода ЧРЭ, который в свою очередь может подключаться к промышленной электросети 3, 380, 50 Гц, дизель-электрической станции или к мощной батарее аккумуляторов с подзарядным устройством.

При таком построении вибропогружатель просто настраивается на резонансную частоту грунтов, которая лежит в диапазоне частот 20-60 Гц [12].

В заданной конструкции легко достигаются необходимые для геофизических работ частоты, до их максимальных значений 150-250 Гц. При этом нагрузкой вместо погружаемой сваи является излучающая плита, площадь которой выбирается из условия неразрушающего грунта процесса излучения для сейсморазведки, тонкого изучения строения земли, интенсификации добычи углеводородного сырья в нефтедобывающих районах.

Выводы: На основе анализа предупредительных и ударных процессов погружения строительных конструкций приводятся величины необходимых импульсных усилий и мгновенных механических мощностей для погружения и преодоления очень больших усилий сопротивлений грунтов, при низких (1,0-1,5 Гц) частотных ударов.

Сделан вывод о необходимости создания вибрационной погружающей техники с высокими технико-экономическими показателями.

По аналогии с формированием силовых электрических импульсов предложено строить вибропогружающую и сейсмическую технику на основе линейных частотно-регулируемых электроприводов с широким регулированием длительностей силовых импульсов воздействия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Проектирование и устройство свайных фундаментов / С.Б. Беленький [и др.]. -М.: Высш. шк., 1983. -328 с.: ил.
- 2 Устройство свайных фундаментов в твёрдомёрзлых грунтах / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова. -М., 1973.
- 3 Белецкий, Б.Ф. Строительные машины и оборудование / Б.Ф. Белецкий, И.Г. Булгакова. -Ростов-н/Д.: Феникс, 2005. -608 с.: ил.
- 4 Ванков, С.Н. Карманный технический справочник : для инженеров, техников и учащихся / С.Н. Ванков. -М., 1938. -Ч.1. -526 с.: ил.
- 5 Сваебойное оборудование. 40/2004 [Электронный ресурс] / Стройинформ. -Режим доступа: www.stroyinform.ru.
- 6 Гидромолот: описание и применение [Электронный ресурс] / Новосиб. завод «Сибтехномаш». -Режим доступа: www.sibtechnomash.ru.
- 7 Пат. 2282029 Российская Федерация, Е21, С3/16. Электромолот / Малахов А.П., Аносов В.Н., Глазырин М.В. -Опубл. 20.08.2006, Бюл. №23. -5 с.

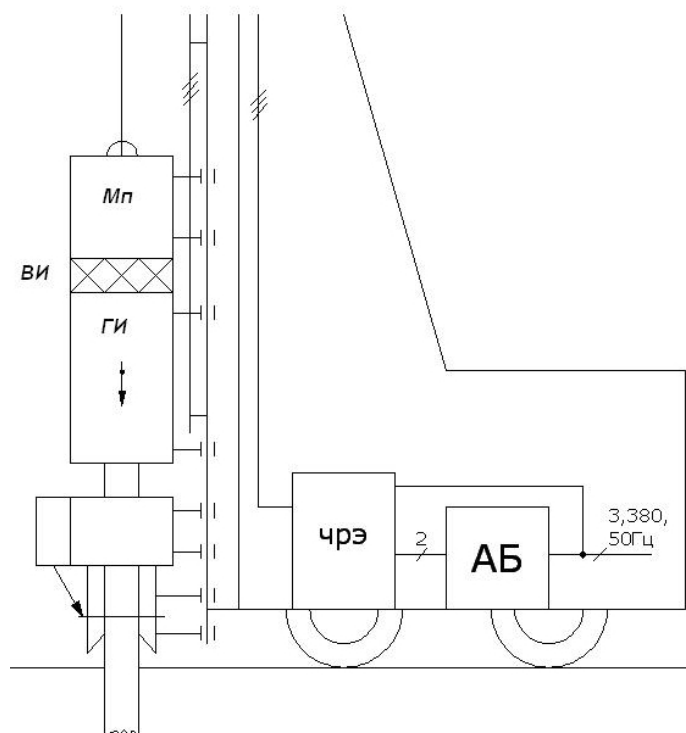


Рисунок 3 – Установка для погружения и извлечения строительных конструкций с линейным частотно-регулируемым электроприводом

8 Пат. №54381 Российская Федерация, Е02, Д7/00. Электромолот / Малахов А.П. - Оpubл. 27.06.2006, Бюл.№18.

9 Пат. №2240185 Российская Федерация, 7В06, В1/16. Регулируемый вибровозбудитель / Малахов А.П. -Оpubл. 20.11.2004, Бюл №32.

10 Пат. 2240871 Российская Федерация, В06, В1/16. Регулируемый эксцентриковый вибровозбудитель / Малахов А.П., Чичинин И.С., Аносов В.Н. -Оpubл. 21.11.2004, Бюл. №33.

11 Пат. №2282216 Российская Федерация, Е21, С3/16. Способ управления виброейсмосточником / Малахов А.П. -Оpubл. 20.08.2006, Бюл. №23. -5 с.

12 Малахов, А.П. Высокочастотные электродинамические виброейсмосточники / А.П. Малахов // Электротехника. -2003. -№9. -С. 58-61.

13 Теория и практика наземной невзрывной сейсморазведки / под ред. М.Б. Шнеерсона. -М.: Надежда, 1998. -527 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *линейные электроприводы, извлечение, строительные конструкции*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Малахов Алексей Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
Бочков Дмитрий Борисович, студент ГОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»*

ЭЛЕКТРОМОЛОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ, ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ И ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ

ГОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

А.П. Малахов

ELECTRICAL HAMMERS IN INDUSTRIAL, CONSTRUCTIONAL ENGINEERING AND FOR ERECTION OF PERMANENT OFF-SHORE PLATFORMS

**«Novosibirsk state technical university»
A.P. Malahov**

We present the analysis and condition of development and erection of powerful pile-driving equipment. We provide basic technical and economic parameters of various types of hammers. The paper contains main principles of hammers frequency equation with linear non-synchronous electric motors.

Проведен анализ и состояние по разработке и созданию мощной сваебойной техники. Даются основные технико-экономические показатели различных типов молотов. Приведены основные принципы частотного управления молотов с линейными асинхронными электродвигателями.

В наше время в России и развитых странах до 90% свайных фундаментов промышленных и гражданских сооружений возводиться на забивных железобетонных сваях. Известно, что стоимость фундаментов зданий и сооружений составляет до 50% от общей их стоимости. А фундаменты на забивных сваях значительно дешевле ленточных фундаментов. В северных же условиях, на вечной мерзлоте, вообще строительство ведется исключительно на свайных фундаментах.

Забивка железобетонных свай ведется различными сваебойными молотами – механическими, дизельными, паровоздушными, гидравлическими.

Каждый тип молотов имеет свои преимущества и недостатки.

Дизельные молоты просты по конструкции, имеют малую стоимость, но имеют крайне плохие экологические показатели и не регулируются по частоте и энергии ударов. Из-за плохих экологических показателей они, практически, не стали выпускаться и эксплуатироваться. Кроме того, в северных условиях они плохо запускаются в работу и, практически, не запускаются в мягких грунтах. Использование дизельных молотов в городских условиях либо запрещено, либо жестко ограничено. Эта общемировая тенденция приняла и в России необратимый характер.

Дизельные молоты сейчас применяются в основном в слаборазвитых странах, которые, пока еще, не имеют средств на приобретение и использование дорогих гидромолотов производителей развитых стран. Цены на западные сваебойные гидромолоты заведомо высоки. Так гидромолоты производства Германии и Финляндии по данным [1] могут достигать 15-18 млн. рублей. Кроме того, эти молоты требуют для своего обслуживания командированных высококвалифицированных и, соответственно, высокооплачиваемых специалистов фирм-поставщиков гидромолотов.

Новосибирский завод «СИБТЕХНОМАШ» [1] после длительных подготовительных работ

начал выпускать гидромолоты подобных западных конструктивным схемам.

Эти гидромолоты также имеют сложную конструктивную схему, сложны в изготовлении и обслуживании и, естественно, имеют большую стоимость. Так гидромолоты типов МГЗш, МГ4ш и МГ5ш соответственно на энергии ударов 38, 50 и 53 кДж с частотой 60 ударов в минуту имеют ориентировочную стоимость 4,5; 5,0; 5,6 млн. руб., что также пока ограничивает их широкое распространение по строительным организациям. Но эти молоты, из-за имеющихся возможностей увеличивать частоты ударов до 3,0-3,5 Гц при сохранении величины средней ударной мощности в этом диапазоне частот, находят свое применение в условиях стесненного городского строительства и при забивке свай в мерзлый грунт.

Практически одновременно с разработкой гидравлических молотов рядом западных фирм, советских, а затем и российских в 70-80 годы прошлого века был разработан ряд электромагнитных молотов [2] на энергии ударов 2 и 30 кДж.

Эти молоты отличаются крайней простотой конструкции, заключающейся в том, что в этом молоте цельнометаллический якорь является одновременно и бойком молота, корпус – магнитопроводом, а возвратно-поступательное движение якоря-бойка обеспечивается поочередным включением специальной схемой управления медных катушек, имеющих длину несколько большую длины хода якоря-бойка.

И даже на том уровне техники разработчикам этих молотов удалось решить ряд важнейших научно-технических проблем. В результате начался серийный выпуск импульсных сейсмоисточников на энергии ударов 600-1000 Дж, молот на энергию ударов 2000 Дж подготовлен к серийному производству для возведения переправ для тяжелой спецтехники, а сваебойные молоты на энергии ударов 30 кДж были выпущены малой серией (в общей сложности более 15 штук). Этими молотами в 1977-1981 годах на строительных площадках г. Красноярска (КраЗ и др.) совместно с КфВНИИСДМ и предприятиями г. Новосибирска было забито несколько сотен железобетонных свай типа СУ-8 (30×30), в том числе, и в мерзлый грунт. Скорость забивки достигала 2,7-2,8 м/мин. Причем, сваи забивались до значительно больших глубин, чем аналогичными дизельмолотами.

На рисунке 1 показаны зависимости энергий ударов гидромолотов, электромагнитных и электрических линейных от частоты ударов при условии постоянства ударной мощности. При этом и из питающей сети потребляется электроэнергия с постоянной мощностью при регулировании энергии и частоты ударов. Этот режим регулирования просто выполняется с помощью современных тиристорных и транзисторных систем питания и управления. Из приведенных зависимостей видно, что при повышенных частотах ударов в электрических молотах энергия ударов более чем в 2 раза больше практически на всех частотах ударов. Это говорит о большей погружающей способности электромагнитов в стесненных (сейсмоопасных) зонах и при забивке свай в мерзлоту, в северных условиях.

Несмотря на относительно низкий КПД и высокое количество меди для изготовления при серийном производстве, например, электромагнитного молота двойного действия ЭМДД-50 его стоимость не превысит 2 млн. руб., что в 2-3 раза меньше стоимости аналогичных гидравлических молотов типа МГш и в 5-10 раз меньше стоимости гидромолотов западного производства.

Главным при серийном производстве электромагнитных молотов [3] будет решение вопроса охлаждения катушек, внутри которого поддерживается повышенное давление охлаждающей жидкости и охлаждающего газа, что при развитой поверхности корпуса молота до 20 м² при интенсивности теплопотока до 10 кВт с квадратного метра полностью решает вопрос теплоотвода от корпуса.

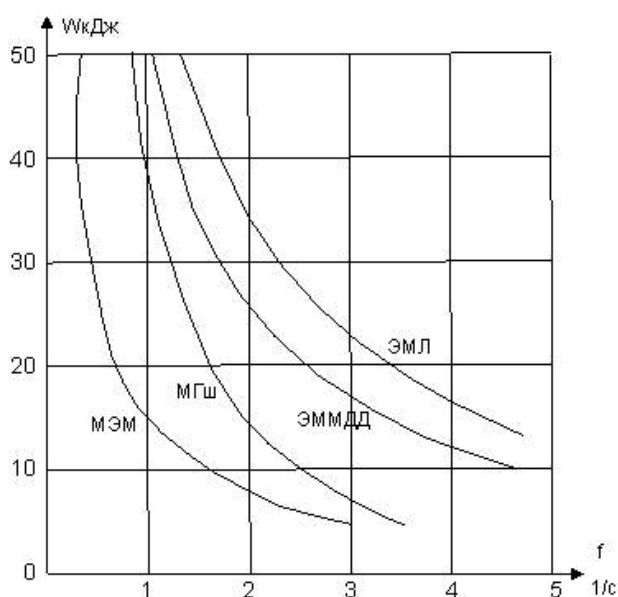


Рисунок 1 – Частотные зависимости энергией ударов гидравлических (МГш), электромагнитных (МЭМ, ЭМДД) и электрических линейных (ЭМЛ, ЭММС) сваебойных молотов

Лучшим технико-экономическим показателем обладают электромолоты с линейными асинхронными двигателями [4]. В этих молотах трубчатый якорь-боек с короткозамкнутыми кольцами по внешней поверхности и со сплошной нижней частью помещен в цилиндрический статор с кольцевыми катушками. Эти катушки при подключении к преобразователю частоты создают бегущее магнитное поле со скоростью

$$V = 2 \cdot \tau \cdot f,$$

где τ – полюсное давление, м (выбирается более 6-10 см).

Количество полюсов должно быть более 6-8 и тогда исключается влияние краевого эффекта, а линейная машина при этом имеет КПД практически не отличающееся от КПД обычной вращающейся асинхронной электрической машины. И тогда в электромолоте с линейной асинхронной машиной с однократным преобразованием электрической энергии получаем КПД не ниже 0,80-0,85, что значительно выше, чем в любом гидравлическом молоте. В линейных электромолотах развита поверхность якоря-бойка, и, поэтому, аккумулятор энергии выполняется на давлениях не выше 5-10 атм., тогда как в гидромолотах эти давления достигают величин более 240 атм., что крайне усложняет и конструкции этих гидромолотов и требуют для своего обслуживания специалистов высокой квалификации. Упрощается и режим хранения электромолотов в перерывах между работами. Хранение может быть выполнено и на открытом воздухе. Только непосредственно перед работой нужно проверить давление газа внутри корпуса и сопротивление изоляции катушек и обмотки электромолота.

Электромолоты вследствие их полной герметичности могут с успехом эксплуатироваться и в подводных условиях на любой глубине. Тем более, что для их питания и управления необходим только 4-х жильный кабель. Для электромолотов же необходимы как минимум, 2 шланга, повышенного до 240 атм. давления и кабель управления.

Для строительства морских стационарных нефтяных платформ (МСП) необходимы молоты на различные энергии ударов. Линейка электромолотов для строительства МСП приведена в таблице, где, в том числе, приведены молоты на энергии ударов 15000 и 2000 кДж, в которых необходимы бойки массами в 75 и 100 т соответственно [5]. Молоты с такими энергетическими показателями возможно выполнить только при создании линейных электрических машин с однократным преобразованием электрической энергии с бегущим электрическим полем (таблица).

Таблица – Линейные электрические машины с однократным преобразованием электрической энергии с бегущим электрическим полем

Тип молота	Энергия удара, кДж	Масса бойка, т	Общая масса, т	Потребляемая мощность, кВт	Диаметр забиваемых свай, мм
ЭМЛ-5	5	0,25	0,5	6,5	–**
ЭМЛ-50	50	2,5	5	65	300-426*
ЭМЛ-100	100	5	12	125	426-630
ЭМЛ-200	200	10	25	250	630-820
ЭМЛ-500	500	25	50	625	820-1020
ЭМЛ-1000	1000	50	100	1250	1020-1420
ЭМЛ-1500	1500	75	150	1900	1420-2220
ЭМЛ-2000	2000	100	200	2500	2220-3100

*-деревянные сваи, шпунт; *-железобетонные сваи

В каталоге [6] рекламируются аналогичные электромагнитные молоты. Но эти молоты имеют крайне низкий КПД, низкую частоту ударов (всего 1/3 Гц), а для своего изготовления требуют крайне большого количества обмоточной меди. Из-за такого низкого КПД и малой частоты ударов эти молоты имеют большое энергопотребление при низкой ударной мощности, что не обеспечивает необходимую производительность работ при строительстве МСП, а крайне низкое КПД молотов типа МЭМ затрудняет их охлаждение.

Электромолоты классов 1500 и 2000 кДж для своего питания и управления требуют установки частот на регулируемых электроприводах на мощности соответственно 1,9 и 2,5 МВт. На такие мощности в настоящее время используются частотно-регулируемые электроприводы на входное и выходное напряжение 6-10 кВ, свабойные же молоты предполагаются использовать на строительных площадках и, в том числе, для забивки металлических свай-труб в подводных условиях на больших глубинах. В этих условиях желательно снизить рабочее напряжение до 600-1100 В. Для этого статоры линейных асинхронных ма-

шин разбиваются на N идентичных секций [7], и каждая секция запитывается от синхронно и синфазно работающих частотно-регулируемых электроприводов. В качестве приводов используются серийно выпускаемые частотно-регулируемые электроприводы НПФ «ИРБИС» (г. Новосибирск) [8].

Такое построение сваебойных агрегатов имеет простейшую конструктивную схему и соответственно обладает высокой надежностью в работе. Простота конструкции электрических линейных молотов заключается в объединении в одной электрической машине ударного механизма с возвратно-поступательным применением бойка, одновременно являющимся якорем асинхронного двигателя. Причем в этой машине отсутствует жесткая механическая связь между источником энергии бойком. Однократное преобразование энергии дает высокий КПД системы, а выполнение всей машины в герметическом корпусе с повышенным внутренним давлением теплоотводящих газа и жидкости обеспечивает интенсивное охлаждение катушек статора и якоря-бойка. Станции управления с частотно-регулируемыми электроприводами [8] в закрытом (защищенном) исполнении дает возможность эксплуатации таких агрегатов на открытом воздухе во всем требуемом диапазоне температур от -50 до $+400$ °С.

В линейном частотно-регулируемом электроприводе применен принцип векторного управления и микроконтроллерным управлением как и во вращательных электроприводах.

Принципы частотного управления асинхронными электродвигателями подробно изложены в [9-14].

Анализируя математическую модель электромагнитных процессов в линейном асинхронном двигателе (ЛАД) с коротко-замкнутым ротором, свяжем вращающуюся систему его координат с вектором потокосцеплений ротора двигателя таким образом, чтобы $\psi_{r1} = \psi_{rm}, \psi_{r2} = 0$. Полученная система координат называется ориентированной по полю и обозначается как (d, q) , здесь d -продольная, а q -поперечная ось магнитного поля ротора. При использовании системы (d, q) циклическая скорость вращающейся системы координат равна мгновенной скорости вектора потокосцеплений ротора: $V_k = V_\psi$, и система уравнений, описывающая работу ЛАД в скалярной форме записи, принимает вид:

$$\begin{cases} L_{\sigma e} \frac{di_{sd}}{dt} = -R_s i_{sd} - \frac{L_m}{L_r} \frac{d\psi_{rm}}{dt} + \omega_\psi L_{\sigma e} i_{sd} + U_{sd}(t, \gamma_\psi); \\ L_{\sigma e} \frac{di_{sq}}{dt} = -R_s i_{sq} - \omega_\psi \left(L_{\sigma e} i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rm} \right) + U_{sq}(t, \gamma_\psi); \\ \frac{d\psi_{rm}}{dt} = \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - \frac{1}{T_r} \psi_{rm}; \frac{L_m}{T_r} i_{sd} - (\omega_\psi - \omega_e) \psi_{rm} = 0; \\ \frac{d\gamma_\sigma}{dt} = \omega_\psi; F_e = \rho_n \frac{L_m}{L_r} \psi_{rm} i_{sd}. \end{cases} \quad (1)$$

Координатные преобразования из осей (α, β) в оси (d, q)

$$\begin{bmatrix} U_{sd}(t, \gamma_\psi) \\ U_{sq}(t, \gamma_\psi) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \gamma_\psi & \sin \gamma_\psi \\ -\sin \gamma_\psi & \cos \gamma_\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_{s\alpha}(t) \\ U_{s\beta}(t) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_{s\alpha} \cos \gamma_\psi + U_{s\beta} \sin \gamma_\psi \\ U_{s\beta} \cos \gamma_\psi - U_{s\alpha} \sin \gamma_\psi \end{bmatrix}.$$

Величина частоты скольжения

$$V_s = V_\psi - V_l.$$

Так как в перемещающейся синхронно с магнитным полем машины системе координат все электромагнитные переменные в установившемся режиме постоянны, модель статики легко получить, приравняв нулю производные первых трех уравнений системы (1) и интегрируя предпоследнее:

$$\begin{cases} R_s i_{sd} - \omega_\psi L_{\sigma e} i_{sd} = U_{sd}; \\ R_s i_{sq} + \omega_\psi \left(L_{\sigma e} i_{sd} + \frac{L_m}{L_r} \psi_{rm} \right) = U_{sq}; \\ L_m i_{sd} = \psi_{rm}; L_m i_{sd} = \omega_e T_r \psi_{rm}; \\ \gamma_\psi(t) = \gamma_\psi(0) + (\omega_e + \omega_s)t; F_e = \rho_n \frac{L_m}{L_r} \psi_{rm} i_{sd}. \end{cases} \quad (2)$$

Векторная диаграмма ЛАД, соответствующая последней системе уравнений, приведена на рисунке 2.

Из системы уравнений (2) продольная составляющая вектора токов статора i_{sd} определяет магнитное состояние машины, характеризующееся величиной Ψ_r , а поперечный ток i_{sq} , умножаясь на текущее значение потокосцепления, создает электромагнитную силу ЛАД. На основе этого заключения формулируется так называемый принцип ориентирования по полю или принцип векторного управления ЛАД [9, 10].

Законы управления частотно-регулируемым электроприводом, построенного на базе ЛАД, могут быть синтезированы на методической основе, известной из теории ЭП постоянного тока с независимым возбуждением, если управляющие воздействия на регулируемый источник тока или напряжения формировать в перемещающейся системе координат, ориентированной по вектору потокосцеплений ротора, а затем преобразовывать их в неподвижную (фазную) систему. При этом ЛАД должен рассматриваться как двухканальный объект управления.

Воздействие на поперечную составляющую вектора токов статора ЛАД должно использоваться для управления электромагнитным моментом в канале регулирования координат механического движения электропривода, подобно току якоря в ЭП постоянного тока.

Воздействие на продольную составляющую тока статора должно использоваться для управления магнитным состоянием (магнитным потоком) машины с целью обеспечения рациональных режимов электромеханического преобразования энергии, подобно току возбуждения двигателя постоянного тока.

В соответствии с принципами векторного управления вся система управления линейного асинхронного двигателя функционально разбивается на два независимых контура управления: контур регулирования усилия момента ЛАД и контур регулирования потока ЛАД.

Степень нажатия ручки хода молота является заданием усилия электропривода молота.

Вычисление составляющей тока статора по оси 2 (\tilde{i}_2^s) для замыкания обратной связи контура управления усилием двигателя осуществляется с помощью преобразователя координат ($u, v, w \rightarrow \alpha, \beta \rightarrow 1, 2$) на основании сигналов датчиков фазных токов статора ($\tilde{i}_u^s, \tilde{i}_v^s$).

Датчик напряжения (ДН) преобразует сигналы потенциалов фаз статора ($\varphi_u, \varphi_v, \varphi_w$) в фазные напряжения U_u, U_v согласно следующим уравнениям:

$$U_u = \varphi_u - \frac{1}{3}(\varphi_u + \varphi_v + \varphi_w); U_v = \varphi_v - \frac{1}{3}(\varphi_u + \varphi_v + \varphi_w).$$

Имея фазные напряжения статора можно легко найти потокосцепления фаз ротора согласно векторной диаграмме (см. рисунок 2). Для этого необходимо из вектора напряжения статора вычесть вектор $V_\psi L_{\sigma e} D I_s$ (компенсация iL) и вектор $R_s I_s$ (компенсация iR), а затем проинтегрировать полученный вектор $V_\psi L_r^{-1} L_m D \Psi_r$. Запишем уравнение фазы статора в упрощенной форме:

$$U_u^s = \frac{d\psi_u^r}{dt} + L_\Sigma \frac{di_u^s}{dt} + i_u^s R_u^s; \frac{d\psi_u^r}{dt} = U_u^s - L_\Sigma \frac{di_u^s}{dt} - i_u^s R_u^s; \psi_u^r = \int (U_u^s - i_u^s R_u^s) dt - L_\Sigma i_u^s,$$

где $L_{\sigma 1}, L_{\sigma 2}$ – индуктивности рассеяния обмотки статора и индуктивность рассеяния обмотки ротора, приведенные к обмотке статора, соответственно

$$L_\Sigma = L_{\sigma 1} + L_{\sigma 2}.$$

Уравнение потокосцепления ротора для фазы V аналогично фазе U .

Зная положение вектора потокосцепления ротора, необходимо его ориентировать по оси d ротора. Для этого вектор потокосцепления ротора раскладывается по осям управления ротором (1, 2). Составляющая потокосцепления ротора по оси 2 сводится к нулю, тем

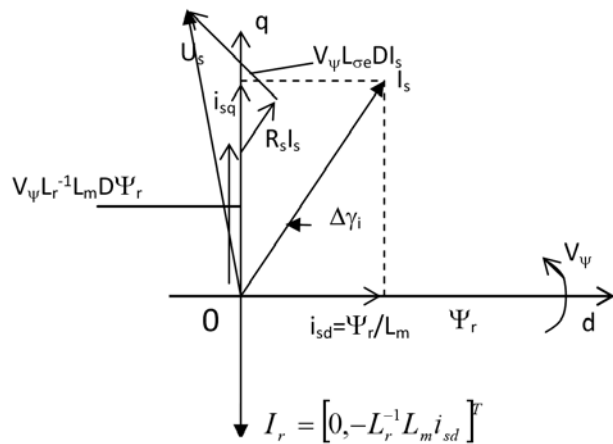


Рисунок 2 – Упрощенная векторная диаграмма линейного асинхронного двигателя

самым осуществляется принцип ориентации по полю двигателя.

Вычисление $\tilde{\psi}_1^y$, $\tilde{\psi}_2^y$ происходит с помощью преобразователя координат ($u, v, w \rightarrow \alpha, \beta \rightarrow 1, 2$), используя сигналы $\tilde{\psi}_u^y$, $\tilde{\psi}_v^y$. Сигнал $\tilde{\psi}_1^y$ используется для замыкания обратной связи по полю двигателя (ПИ-регулятор составляющей потокосцепления ротора по оси 1). Сигнал $\tilde{\psi}_2^y$ сводится к нулю ПИ-регулятором составляющей потокосцепления ротора по оси 2. Задание на регуляторе является нулевым. Обратная связь составляющей потокосцепления ротора по оси 2 поступает с преобразователя координат. Сигнал выхода регулятора пропорционален скорости ротора.

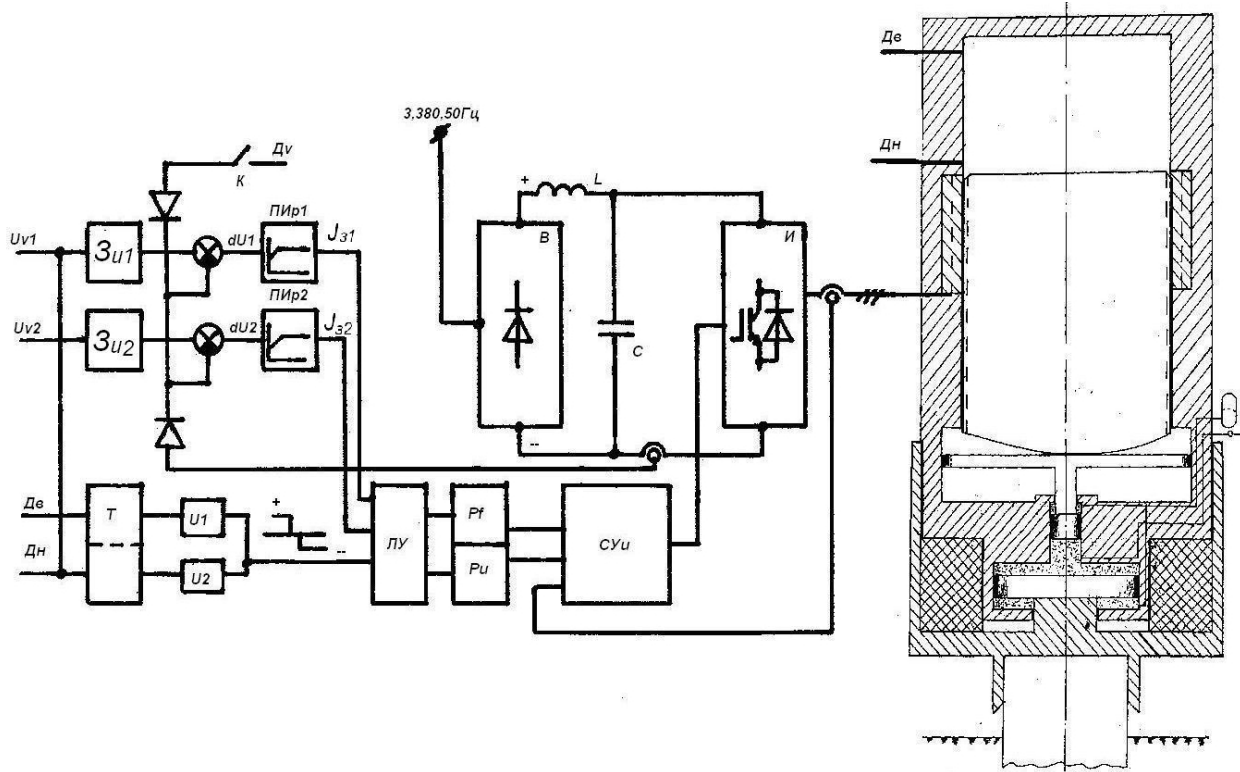


Рисунок 3 – Функциональная схема системы частотного управления с ЛАД

Для осуществления координатных преобразований необходимо знать скорость вращения поля статора, а точнее ее тригонометрические функции. Для этого суммируют вычисленную частоту ротора ($\tilde{\omega}_p$) и частоту скольжения ($\tilde{\omega}_s$). Для упрощения вычисления частоты скольжения используем пропорциональность составляющей тока статора по оси 2 и скольжение двигателя. Введение коэффициента пропорциональности назовем компенсацией скольжения (k_s).

Компенсация скольжения:

$$V_c = V_r + V_s; i_2^s \in W_s;$$

$$V_c = V_r + k_s \cdot i_2^s.$$

На рисунке 3 показана функциональная схема системы частотного управления электромолота с ЛАД, а на рисунках 4 и 5 – диаграммы пуска и установившегося ударного режима электромолота с массой

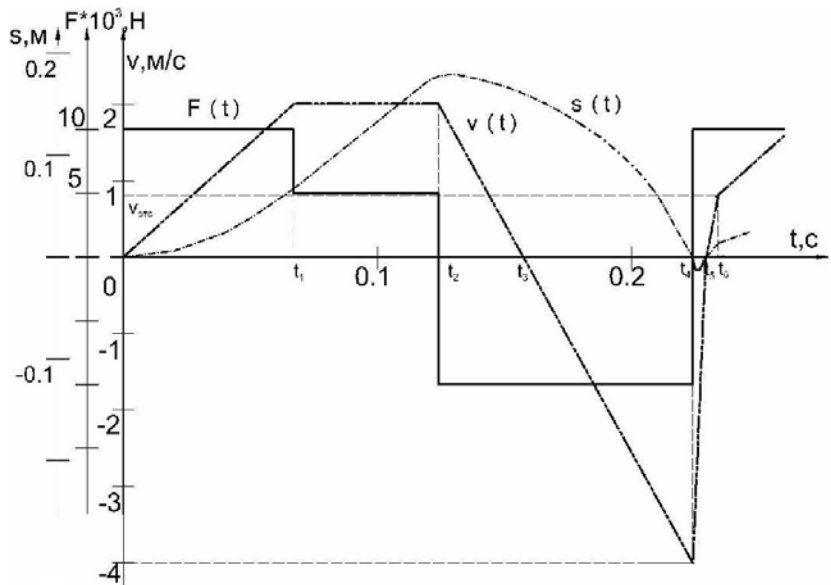


Рисунок 4 – Диаграммы пускового режима работы электромолота

бойка 500 кг и энергией установившихся ударов 3 кДж.

Устойчивый режим работы электромолота обеспечивается датчиками конечных положений $D_в$ и $D_н$. Установка промежуточных датчиков обеспечивает повышенную частоту ударов при заданных максимальных значениях усилий электропривода при его ходе вверх и вниз (в сторону удара).

Выводы: Полученные результаты дают возможность создавать электроприводы с ЛАД с массами бойков до 100-200 т.

Доказаны возможности появления систем управления такими линейными молотами и возможностями их регулирования: и частоты и энергии ударов.

По сравнению с гидромолотами применение электромолотов с ЛАД обеспечивает возможность их работы от источников постоянного тока – аккумуляторных батарей, что обеспечивает их работу при возведении нулевых циклов строительства при отсутствии каких-либо источников электропитания и электроснабжения.

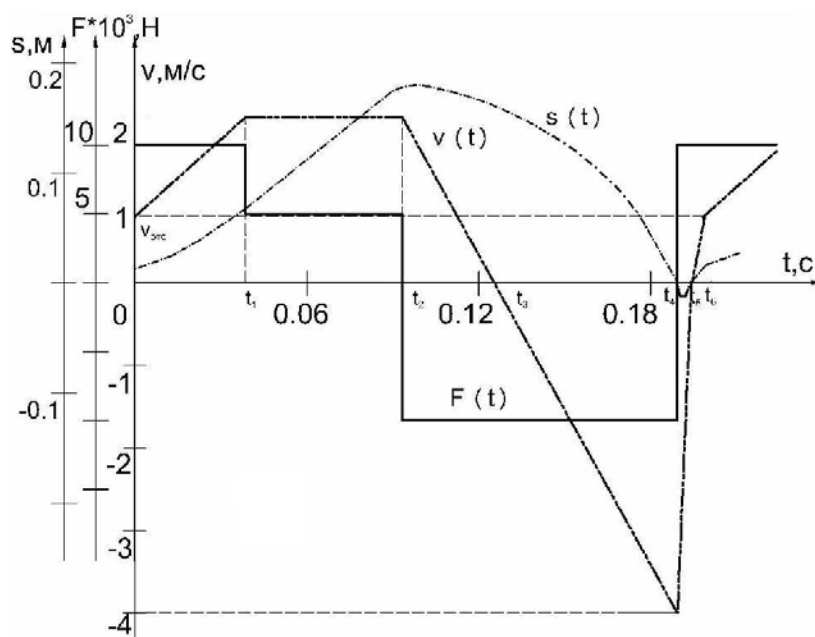


Рисунок 5 – Диаграммы установившегося режима работы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сваебойное оборудование. 40/2004 [Электронный ресурс] / Сибтехномаш; Стройинформ. -Режим доступа: www.sibtecnomash.ru.
- 2 Электромагнитные молоты / А.Т. Малов, Н.П. Ряшенцев, А.П. Малахов, А.Н. Антонов. - Новосибирск: Наука, 1979. -268 с.
- 3 Пат. 2295025 Российская Федерация, 37/00, E02, Д7/02. Электромагнитный молот / Малахов А.П. -Опубл. 10.03.2008, Бюл.№2.
- 4 Пат. №2315181 Российская Федерация, E21, C37/00. Электромолот / Малахов А.П. - Опубл. 01.02.2008, Бюл. №7.
- 5 Малахов, А.П. Молот электрический сваебойный (ЭММС) [Электронный ресурс] / А.П. Малахов. -Режим доступа: <http://emf.nstu.ru/index.php>
- 6 Каталог продукции / АО «ЭЛСИБ». -Новосибирск.
- 7 Пат. 2282299 Российская Федерация, МПК H02, P1/52. Частотно-регулируемый электропривод / Малахов А.П., Аносов В.Н., Глазырин М.В. -Опубл. 20.08.08., бюл. №23.
- 8 Частотно-регулируемые электроприводы: каталог продукции НПФ «ИРБИС». - Новосибирск.
- 9 Режим доступа: <http://www/irbis.ksn.ru>.
- 10 Костенко, М.П. Работа многофазного асинхронного двигателя при переменном числе периодов / М.П. Костенко // Электричество. -1995. -№2.
- 11 Рудаков, В.В. Асинхронные электроприводы с векторным управлением / В.В. Рудаков, И.М. Столяров, В.А. Дартау. -Л.: Энергомашиздат, 1987. -137 с.
- 12 Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейдер; УРО РАН. -Екатеринбург, 2000. -654 с.
- 13 Ковчин, С.А. Теория электропривода: учеб. для вузов / С.А. Ковчин, Ю.А. Сабинин. - СПб.: Энергомашиздат, Санкт-Петерб. отд-ние, 2000. -496 с.: с ил.
- 14 Укомплектованный тяговый частотно-регулируемый электропривод современных троллейбусов / Л.В. Музалевский, Г.В. Рязановский, Е.В. Артемов, А.П. Малахов, В.И. Овдин

// Электротехника и электрооборудование трансп.: науч.-техн. журн. -2007. -№4. -С. 28-32.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромолот, линейный асинхронный двигатель
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Малахов Алексей Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «НГТУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г. Новосибирск, пр. К.Маркса, 20, ГОУ ВПО «НГТУ»

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КАЧЕСТВЕ ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОВРЕЖДЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

В.Г. Ляпин

APPLICATION OF ELECTROPHYSICAL PROPERTIES OF VEGETATIVE OBJECTS AS THE DIAGNOSTIC METHOD OF DAMAGE «Novosibirsk state agrarian university»

V.G. Ljapin

Methodical maintenance of probes of degree of electric damage of vegetative objects is considered. In work questions of reception of the models are resulted, allowing to predict electrophysical properties of fabrics taking into account morphological and biological features of a structure of plants, and finally to find modes of steering electric conductivity at electrotechnological influence.

Рассмотрено методическое обеспечение исследований степени электрического повреждения растительных объектов. В работе приведены вопросы получения моделей, позволяющих прогнозировать электрофизические свойства тканей с учетом морфологических и биологических особенностей строения растений, а в конечном итоге находить способы управления электропроводностью при электротехнологическом воздействии.

В биофизике и электротехнологии растение интересует исследователей как объект, подвергающийся воздействию электромагнитного поля (ЭМП), в результате которого могут происходить его качественные изменения [1-7]. Измерения свойств растительного объекта (РО) в зависимости от технологических или экспериментальных условий могут производиться по двум схемам (в процессе воздействия, до и после обработки), а методы измерения могут быть контактные и бесконтактные, прямые и косвенные, количественные и качественные. Поэтому, на стадии исследований и проектирования электромагнитных приборов, аппаратов и установок необходимо решить, о каких качественных изменениях идет речь, какими методами их измерять и какова должна быть точность этих измерений. Эти вопросы являются техническими, но позволяют выявить наиболее важные и обнаруживаемые свойства РО, которые могут быть модифицированы в процессе электротехнологической обработки или изменяться в зависимости от техногенных условий.

Чтобы решить вопрос, о каких качественных изменениях идет речь при электромагнитном повреждении РО, в качестве аналогии рассмотрим проблему совместимости и повреждения растений исследованными [2-4] факторами ЭМП. Известно, что РО в процессе своего роста и развития испытывают воздействие угнетающих факторов, к которым относят температурные и электромагнитные колебания, засуху, избыточное увлажнение, засоленность почвы и т.д., а каждое растение обладает способностью к адаптации в меняющихся условиях внешней среды в пределах, обусловленных его генотипом. Чем выше способность РО изменять метаболизм, тем шире норма реакции данного растения и лучше способность к адаптации. Поэтому несильные и кратковременные изменения факторов ЭМП не приводят к существенным нарушениям физиологических функций растений [4, 5], что обусловлено их способностью поддерживать гомеостаз, то есть сохранять относительно стабильное состояние при изменяющихся условиях внешней среды.

Резкие и длительные воздействия ЭМП приводят к нарушению многих функций растения и к его гибели [2-4, 6] (рисунок 1). Поэтому, как и при действии природных экстремальных факторов, снижение физиологических процессов и функций растения в ответ на ЭМП может достигать критических уровней,



Рисунок 1 – Основные изменения в РО при электромагнитном повреждении

не обеспечивающих реализацию генетической программы онтогенеза, нарушаются системы регуляции, энергетический и белковый обмены, др. жизненно важные функции РО и в нем возникает напряженное состояние, отклонение от нормы, то есть стресс – общая неспецифическая адаптационная реакция.

Под термином повреждение в патологии принято понимать изменения структуры клеток, межклеточного вещества, тканей и органов, которые сопровождаются снижением уровня их жизнедеятельности или ее прекращением. Выявлено [4, 6], что причины, способные вызвать электромагнитное повреждение, разнообразны, и могут действовать непосредственно или опосредованно. Характер и степень этого повреждения зависят от природы и силы электромагнитного фактора, структурно-функциональных особенностей органа или ткани, а также от реактивности организма. В одних случаях возникают поверхностные и обратимые изменения, касающиеся обычно лишь ультраструктур, в других – глубокие и необратимые, которые могут завершиться гибелью не только клеток и тканей, но и целых органов.

В методах электрофизиологических исследований состояния РО выделены два направления измерения: собственного ЭМП и ответных реакций организма на раздражение внешним полем электромагнитных приборов, аппаратов и установок. Электромагнитную устойчивость определяют помещением исследуемого РО на определенное время в ЭМП испытательного прибора, аппарата или установки, оценивая по повреждению клеток, тканей, органов и т.д., то есть изменению состава, структуры и физических свойств растительных материалов, подвергающихся электронной и ионной бомбардировке и претерпевающих структурные и фазовые превращения. Устойчивость РО к факторам ЭМП определяется рядом признаков, свойств и защитно-приспособительных реакций, а различные виды растений обеспечивают ее с помощью механизмов, которые позволяют им избежать отрицательных воздействий (состояние покоя, эфемеры и др.), посредством специальных структурных приспособлений и благодаря физиологическим свойствам, позволяющим им преодолеть повреждающее электромагнитное влияние. Исследования [4, 6] показали, что защита РО от факторов ЭМП обеспечивается структурными приспособлениями, особенностями анатомического строения (кутикула, корка, механические ткани и т.д.), специальными органами защиты (жгучие волоски, колючки), двигательными и физиологическими реакциями, выработкой защитных веществ (смола, фитонцидов, токсинов, защитных белков). К структурным приспособлениям следует отнести и мелколистность, воскообразную кутикулу на поверхности листьев, их густое опушение и погруженность устьиц, наличие сочных листьев и стеблей, сохраняющих резервы воды, эректоидность или пониклость листьев.

Как известно, пассивные электрические свойства растительных тканей характеризуются полным сопротивлением (импедансом) \underline{Z} или комплексной проводимостью (иммитансом) \underline{Y} . Применение этих показателей и разрабатывается в качестве диагностического метода повреждения РО [7-11]. В современных измерителях Е7-хх тест-сигнал формируется с помощью технологии прямого цифрового синтеза, что дает широкую сетку частот, а \underline{Z} вычисляется через значения тока и напряжения на измеряемом объекте с помощью цифровой обработки. Разработанные модели (рисунки 2-4) и полученные результаты [2, 4, 6] показывают, что наибольший вклад в активное сопротивление растения и его динамическое изменение вносит сопротивление наружных тканей. С ростом частоты импеданс РО снижается, благодаря емкостной проводимости клеточных мембран. Полученные результаты расчетов позволяют сделать вывод, что изменение полного сопротивления, как показателя повреждения клеток и тканей выражает изменение емкостных свойств не только поверхностных цитоплазматических, но и внутренних мембран эндоплазматической сети и клеточных органоидов, которые выполняют роль конденсаторов, а содержимое клеток – роль раствора, содержащего коллоиды и кристаллоиды.

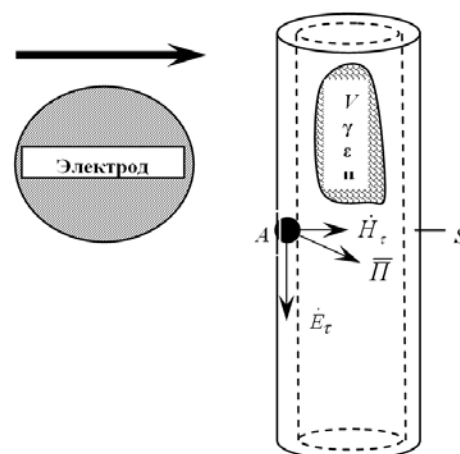


Рисунок 2 – Растительная ткань в ЭМП электрода испытательного прибора, аппарата или установки: стрелкой показано направление движения электрода; \dot{E}_t , \dot{H}_t – касательные составляющие вектора Пойтинга \dot{P} на поверхности ткани

Резкие и длительные воздействия ЭМП приводят к распространению повреждения вглубь корневой системы растения (рисунок 3), тканей (рисунки 2, 4) и клеток, соответственно, травмирует их органоиды и нарушает активность связанных с ними ферментных систем (таблица). В митохондриях поврежденной ЭМП клетки происходят различные нарушения активности окислительных ферментов (цитохромоксидазы и др.). Вследствие этого интенсивность клеточного дыхания снижается, активируются внутриклеточные протеазы, что приводит к накоплению кислых продуктов протеолиза и снижению рН клеточной среды. Эти процессы лежат в основе аутолиза поврежденных ЭМП клеток.

Моделирование плотности распределения тока по сечению РО проводится путем разбиения биологической ткани на совокупное множество проводников (см. рисунок 4), связанных между собой емкостными составляющими. При этом каждый проводник характеризуется величиной комплексного сопротивления, полученной исходя из формы, линейных размеров и относительного положения в совокупности других проводников. Расчет комплексного сопротивления производится с учетом глубины проникновения тока в каждый элементарный проводник и их формы (возможно проводить расчет для проводников круглого и прямоугольного сечения). Для каскадной схемы замещения (см. рисунок 4), составлена система дифференциальных уравнений.

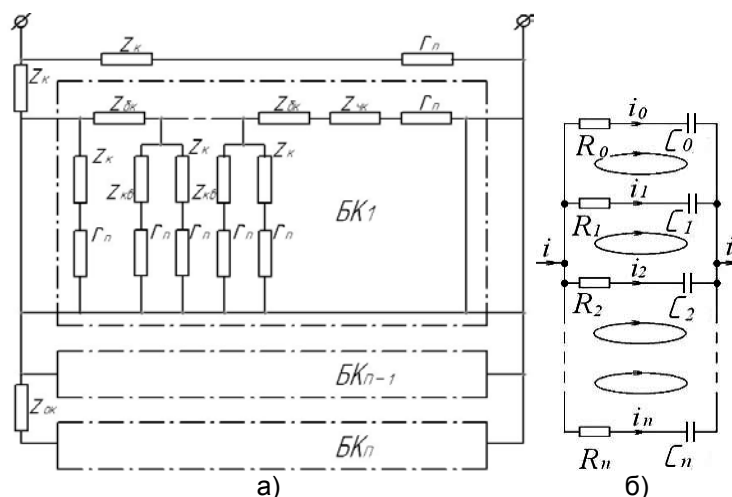


Рисунок 3 – Каскадная схема замещения: а)- корневой системы растения: $Z_{ок}$, $Z_{бк}$ -сопротивления внутренних тканей основных и боковых корней; Z_k , $Z_{кв}$ и $Z_{чк}$ -переходные сопротивления между внутренними тканями корней и почвой через кору, корневые волоски и чехлики; r_n -сопротивления участков почвы; $BK_1 \dots BK_n$ -ответвления боковых корней; б)-растительной ткани в ЭМП: $R_0 \dots R_n$, $C_0 \dots C_n$ -активные и емкостные составляющие; $i_0 \dots i_n$ -токи участков при разбиении ткани на локальные зоны; i -ток, протекающий через ткань; \hookrightarrow -направление емкостных токов в локальных зонах

Таблица – Факторы (воздействия) ЭМП, непосредственно повреждающие клеточные структуры

Повреждающий фактор	Примеры повреждающего действия и повреждаемые структуры
Механическое воздействие	Слущивание клеток, нарушение межклеточных контактов
Высокая температура	Денатурация белков, плавление ДНК, пероксидация липидов
Действие токсинов	Инактивация определенных ферментов и рецепторов
Ультрафиолетовая радиация	Фотохимическое повреждение нуклеиновых кислот, белков и липидов мембран
Недостаток кислорода (гипоксия)	Повреждение клеточных структур вследствие недостатка АТФ
Избыток кислородных радикалов (оксидативный стресс)	
Недостаточность антиоксидантов	
Ионизирующая радиация	Повреждение клеточных структур свободными радикалами
Изменение ионного состава в окружающей среде	Нарушение возбудимости, спонтанная возбудимость, осмотический дисбаланс, набухание клеток

В качестве примера динамики адаптивно-компенсаторных реакций РО можно привести электрическое повреждение [4] – один из типических патологических процессов. Для клеточных структур преобладающую роль здесь играют компенсаторные реакции ткани, а для ткани – адаптация, протекающая в три этапа: образование барьера, разделяющего пораженный участок ткани от нормального; изменение обмена в очаге поражения, обеспечивающее элиминацию инородных и некротических масс и подготавливающее материальные и энергетические ресурсы для репаративной регенерации; пролиферация клеток, обуславливающая восстановление нарушенных структур и функций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Рубин, А.Б. Биофизика: учебник: в 2 т. / А.Б. Рубин. -3-е изд. -М.: Изд-во МГУ: Наука, 2004. -Т.1: Теоретическая биофизика. -448 с. -Т.2: Биофизика клеточных процессов. -469 с.
- 2 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью / В.Г. Ляпин / Новосиб. гос. аграр. ун-т. -Новосибирск, 2000. -106 с.
- 3 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью в приложениях / В.Г. Ляпин / Новосиб. гос. аграр. ун-т. -Новосибирск, 2000. -240 с.
- 4 Ляпин, В.Г. Структурно-функциональные изменения сорных растений при их повреждении электрическим током / В.Г. Ляпин, А.В. Боженков, В.Ф. Котьяшина; под общ. ред. В.Г. Ляпина / Новосиб. гос. аграр. ун-т. -Новосибирск, 2001. -127 с.
- 5 Будаговский, А.В. Теория и практика лазерной обработки растений / А.В. Будаговский; Рос. акад. с.-х. наук, Всерос. науч.-исслед. ин-т генетики и селекции плодовых растений им. И.В. Мичурина. -Мичуринск, 2008. -545 с.
- 6 Ляпин, В.Г. Способ борьбы с сорной растительностью переменным электрическим током: автореф. дис. ... канд. техн. наук. / В.Г. Ляпин. -Челябинск, 1983. -20 с.
- 7 Ляпин, В.Г. Система импедансного контроля растений / В.Г. Ляпин, М.В. Самохвалов // Сиб. вестн. с.-х. науки. -2008. -№5. -С. 135-143.
- 8 Жилкин, В.М. Автоматизированная система измерений степени повреждения растительных материалов / В.М. Жилкин, С.А. Илясова // Тр. ТГТУ: сб. науч. ст. молодых ученых и студентов / Тамб. гос. техн. ун-т. -Тамбов, 2005. -Вып.17. -С. 76-77.
- 9 Будаговская, О.Н. Автоматизированная система контроля структурных перестроек растительных тканей / О.Н. Будаговская, А.В. Будаговский, И.А. Будаговский // Приборы и техника эксперимента. -2007. -№1. -С. 161-162.
- 10 Баев, В.И. Общая закономерность электрического повреждения растительной ткани / В.И. Баев, В.Н. Савчук // Механизация и электрификация сел. хоз-ва. -2004. -№3. -С. 3-4.
- 11 Ляпин, В.Г. К структурно-функциональным изменениям в растениях при электрическом повреждении / В.Г. Ляпин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2008. -№2. -С. 312-318.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрическое повреждение, растительный объект, измерение импеданса
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ляпин Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»

СПОСОБЫ, АППАРАТУРА И УСТРОЙСТВА, ПОВЫШАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

ФГОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

В.Г. Ляпин

MODES, EQUIPMENT AND THE DEVICES RAISING EFFICIENCY OF PROBES OF ELECTRODE SYSTEM OF MOBILE ELECTROTECHNOLOGICAL INSTALLATIONS

«Novosibirsk state agrarian university»

V.G. Ljapin

Wide use of devices and the installations damaging undesirable vegetation by current flow, restrains absence of simple and reliable design procedures of their work. In work the question on methodical maintenance of experimental works on electric damage of plants is considered. The vegetative climatic chamber, ultra-violet and infra-red irradiators, information-measuring system of probe of electric characteristics of plants are created at electromagnetic influences, the soil part, installation for probe of a zone of interaction of an electromagnetic field of electrode system with soil, plants, the air environment and constructive elements. It allows to spend measurements of electric characteristics of electrodes, to study reaction of plants, their active damage, both under the influence of current flow, and in a combination with ultra-violet and infra-red streams at various sizes of technological pressure, high-speed modes, geometry of electrode system of electrotechnological installations.

Широкое использование аппаратов и установок, повреждающих нежелательную растительность электрическим током, сдерживается отсутствием простых и надежных методик расчета их работы. В работе рассмотрен вопрос о методическом обеспечении экспериментальных работ по электрическому повреждению растений. Созданы вегетационно-климатическая камера, ультрафиолетовые и инфракрасные облучатели, информационно-измерительная система исследования электрических характеристик растений при электромагнитных воздействиях, почвенный канал, установка для исследования зоны взаимодействия электромагнитного поля электродной системы с почвой, растениями,

воздушной средой и конструктивными элементами. Это позволяет проводить измерения электрических характеристик электродов, изучать реакцию растений, их активное повреждение, как под действием электрического тока, так и в комбинации с ультрафиолетовыми и инфракрасными потоками при различных величинах технологического напряжения, скоростных режимов, геометрии электродной системы электротехнологических установок.

Известно, что наличие растений на эксплуатационных объектах транспорта затрагивает природоохранные, противопожарные, эстетические, санитарно-гигиенические, экономические и социальные аспекты хозяйственной деятельности. Контролируемая человеком на объектах инфраструктуры растительность снижает или полностью ликвидирует возможность проявления водной и ветровой эрозии, дефляции, оползней и осыпей, селей и лавин, регулирует уровень грунтовых вод, защищает от мороза земляные сооружения, восстанавливает и повышает плодородие нарушенных почв, защищает от ветра и гололедообразования воздушные линии электропередачи, связи и автоблокировки, предотвращает заиливание и повышенное испарение открытых источников воды, снижает уровень шума и загрязнение тяжелыми металлами окружающей среды. При бесконтрольном росте и развитии растительность создает угрозу безопасности и бесперебойности перевозочному процессу и приносит вред снижением видимости сигналов и габаритных огней подвижного состава, трудностью обнаружения посторонних предметов на обочинах, откосах призмы земляного полотна и земляных сооружений, заносом путей снегом и песком и т.д.

В связи с развитием точного земледелия получение информации о локальных условиях произрастания растительных объектов (РО) становится все более значимой. Для реализации на практике концепции точного земледелия требуется эффективное научное обеспечение, а объем и качество информации на этом уровне зависят от наличия и возможностей физико-технических и программных средств. Именно точное дозирование и высокая энергетика электромагнитных процессов даёт возможность проводить реакции РО, осуществимые в современных условиях с использованием электротехнологий. В связи с этим в последние годы растет интерес к процессам и технологиям, основанным на применении электромагнитных полей (ЭМП), воздействующих на РО. Особенно перспективны в этом направлении электротехнологические установки (ЭТУ) и аппараты, стимулирующие и повреждающие РО [1, 2], обработка которых без введения внутренних электродов позволяет получать конечный результат, не загрязнённый продуктами их разрушения.

Планомерные работы по применению ЭТУ и аппаратов, стимулирующих и повреждающих РО, ведутся уже около пятидесяти лет. В публикациях на эту тему имеются результаты исследований в области физики электромагнитных процессов, методов расчета ЭТУ и аппаратов, их конструкций, технологий разнообразных процессов обработки под действием ЭМП, электромагнитных свойств РО на различных частотах и напряжениях. Так как стимуляция и повреждение РО в ЭМП происходит за счет процессов поляризации и прохождения тока проводимости, а совокупность этих процессов приводит к поглощению РО энергии ЭМП, то для успешного проектирования ЭТУ и аппаратов достаточно учитывать лишь макроскопические свойства РО, описываемые с помощью классической физики. Для разработки и оптимизации таких аппаратов и установок, адекватного управления электротехнологическими процессами, необходимо иметь достоверную информацию о структуре ЭМП и распределении в нём основных параметров. Большое значение при разработке технологий электрического повреждения растений имеет проблема зависимости параметров ЭМП ЭТУ от геометрии и скоростных режимов электродной системы (ЭС), технологического напряжения и др. К основным преимуществам электродов ЭТУ нового поколения



Рисунок 1 – Вегетационно-климатическая камера для исследования реакции растений, их активного повреждения под действием электрического тока и в комбинации с ультрафиолетовыми и инфракрасными потоками

ния следует прежде всего относить более высокие значения пропускной способности, легкость монтажа, сниженные эксплуатационные затраты и отсутствие жидких компонентов. Однако относительно высокая стоимость электродов требует как на стадии выбора конструкции ЭС и проектирования ЭТУ, так и на стадии их эксплуатации системного подхода, при котором необходимо по возможности учесть все факторы, влияющие на экономичность, эксплуатационную надежность, а в ряде случаев и экологичность ЭС.

Измерения в условиях непосредственной близости от электрода (расстояние до метра) в динамике электротехнологического процесса, который характеризуется длительностью секундного диапазона, осложнены высокими напряжениями, относительно большими скоростями движения ЭС ЭТУ и другими экстремальными воздействиями. Экспериментальное исследование ЭМП в многоэлектродных системах ЭТУ представляет определенную сложность, поскольку требуется достоверная информация о параметрах каждого электрода в отдельности, чтобы характеризовать систему в целом. Так как исследование – это наблюдение за явлением при соблюдении определенного набора условий, то следует отметить, что по условиям эксперимента и степени проработки вопроса данная работа существенно отличается от общеизвестных методов анализа ЭМП в электротехнологиях.

В плане методического обеспечения экспериментальных работ по электрическому повреждению растений созданы вегетационно-климатическая камера (рисунок 1), ультрафиолетовые и инфракрасные облучатели растений, информационно-измерительная система исследования электрических характеристик БО при электромагнитных воздействиях, почвенный канал (рисунок 2) и установка для исследования зоны взаимодействия электромагнитного поля ЭС с почвой, растениями, воздушной средой и конструктивными элементами ЭТУ (рисунок 3). Это позволяет проводить измерения электрических характеристик электродов, изучать реакцию растений, их активное повреждение, как под действием электрического тока, так и в комбинации с ультрафиолетовыми и инфракрасными потоками при различных величинах технологического напряжения, скоростных режимов, геометрии ЭС ЭТУ.



Рисунок 3 – Почвенный канал для исследования электродной системы электротехнологических установок



Рисунок 3 – Установка с электроприводом для исследования зоны взаимодействия электромагнитного поля электродной системы с почвой, растениями, воздушной средой и конструктивными элементами

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью / В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. -Новосибирск, 2000. -106 с.
- 2 Ляпин, В.Г. Оборудование и энергосберегающая электротехнология борьбы с нежелательной растительностью в приложениях / В.Г. Ляпин; Новосиб. гос. аграр. ун-т. -Новосибирск, 2000. -240 с.
- 3 Ляпин, В.Г. О классификации и параметрах электродных систем / В.Г. Ляпин // Вестн. МГАУ. -2008. -№3. -С. 35-37.
- 4 Ляпин, В.Г. К параметрам и характеристикам электродной техники / В.Г. Ляпин // Ползунов. вестн. -2008. -№4. -С. 111-117.
- 5 Ляпин, В.Г. Электроды для электротехнологических применений и измерения свойств растительных объектов / В.Г. Ляпин // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. - 2008. -№2. -С. 308-312.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрическое повреждение, растительный объект

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Ляпин Виктор Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГОУ ВПО «НГАУ»*
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160, ФГОУ ВПО «НГАУ»*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МОЩНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПИТАЮЩЮЮ СЕТЬ

«Омский институт водного транспорта», филиал ФГОУ ВПО
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Клеутин, В.В. Лебедева, О.А. Малаенко

ANALYSIS OF INFLUENCE POWERFUL VALVE INVERTERS ON SUPPLY NET
 «Omsk institute of water transport», branch «Novosibirsk state academe of water transport»
 V.I. Kleutin, V.V. Lebedeva, O.A. Malaenko

We have made scientific research of powerful valve inverters, how they influence supply net and ways of decreasing that influence.

Проводится анализ работы мощных вентильных преобразователей, их воздействие на питающую сеть и способы уменьшения этого воздействия.

Учитывая особенности развития энергетического комплекса России одним из наиболее актуальных является вопрос о рассмотрении влияния кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в действующих электрических сетях и обеспечение электромагнитной совместимости технических средств путем минимизации кондуктивных ЭМП.

Вентильные преобразователи являются мощными генераторами определенного спектра высших гармонических составляющих тока в питающей сети, это обусловило выбор этих устройств для анализа их электромагнитной совместимости с электрической системой. Состав высших гармоник сетевого тока преобразователей, зависит от схемы выпрямления. Мощный выпрямитель для питающей сети переменного тока является генератором некоторого спектра высших гармонических составляющих тока. Протекание этих гармонических составляющих по обмоткам генераторов, питающих сеть, вызывает в них дополнительные потери мощности и нагрев. Искажения формы кривой напряжения особенно заметны, когда выпрямительная установка питается от сети, мощность которой соизмерима с мощностью, потребляемой выпрямителем [2].

Кривая первичного тока трансформатора трехфазного мостового выпрямителя определяется рядом Фурье

$$i_{1A} \frac{2\sqrt{3}}{\pi n} I_d \left(\sin \omega t - \frac{1}{5} \sin 5\omega t - \frac{1}{7} \sin 7\omega t + \frac{1}{11} \sin 11\omega t + \frac{1}{13} \sin 13\omega t + \dots \right). \quad (1)$$

В соответствии с выражением (1) в кривой тока i_{1A} отсутствует 3-я гармоника и гармоники кратные трем. Процентный состав гармонических составляющих в кривой тока i_{1A} по отношению к амплитуде основной гармоники, принимаемой за 100%, следующий: 5-ая гармоника – 20%, 7-ая гармоника – 14,3%, 11-ая гармоника – 9,1%, 13-ая гармоника – 7,7%, и т.д.

Отличие тока i_{1A} первичной обмотки трансформатора от синусоиды свидетельствуют о том, что трехфазный мостовой выпрямитель для питающей сети переменного тока является генератором высших гармонических составляющих тока.

В выпрямителях большой мощности возрастает влияние ЭДС, создаваемых в первичных и вторичных обмотках трансформатора их магнитными потоками рассеяния.

Повышение роли индуктивностей рассеяния сказывается на процессе перехода тока на грузки с одного вентиля на другой (процесс коммутации). В выпрямителях большой мощности интервал коммутации, характеризуемый углом γ , может занимать довольно значительную часть длительности рабочих процессов. Коммутационные процессы здесь оказывают существенное влияние на режимы работы выпрямителя и питающей сети.

Влияние индуктивностей рассеяния обмоток трансформатора L_1 , L_2 и индуктивности питающей сети L_c , учитывается суммарной индуктивностью, приведенной к вторичной вентильной обмотке трансформатора

$$L_a = L_2 + (L_1 + L_c) \left(\frac{\omega_1}{\omega_2} \right)^2, \quad (2)$$

где ω_1, ω_2 – число витков первичной и вторичной обмоток трансформатора.

При анализе работы выпрямителей применяют суммарное индуктивное сопротивление или анодное реактивное сопротивление

$$x_a = 2\pi fL_a \quad (3)$$

Схема трехфазного мостового неуправляемого выпрямителя с учетом паразитных индуктивностей представлена на рисунке 1 временные диаграммы, учитывающие явление коммутации, на рисунке 2.

Ввиду наличия указанных индуктивностей, которые учитываются приведенными ко вторичной обмотке трансформатора анодными реактивными сопротивлениями x_{aa}, x_{ab}, x_{ac} (рисунок 1), каждый переход тока с одного вентиля на другой в пределах анодной и катодной групп происходит в течение интервала коммутации γ . Коммутация начинается в точках естественного отпирания очередных вентилях (рисунок 2а), которым соответствуют моменты времени 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 и т.д. на рисунок 2б. В точках естественного отпирания вентилях достигается равенство фазных напряжений вторичных обмоток трансформатора [1].

На этапе коммутации открыты три вентиля (рисунок 2в), два из которых в анодной или катодной группе участвуют в коммутации. В течение интервала ток у вентиля, заканчивающего работу, спадает до нуля, а ток вентиля, вступающего в работу, нарастает до значения $i_d = I_d$ (принимая, как и ранее $L_n \rightarrow \infty$). На этапе коммутации вентилях VD1 и VD3 потенциал шины нагрузки $\varphi_d(-)$ определяется напряжением u_c за счет проводимости вентиля VD2 (рисунки 1 и 2а). Потенциал же шины нагрузки $\varphi_d(+)$ формируется с участием напряжений u_a , и u_b в короткозамкнутом контуре, содержащем открытые вентилях VD1 и VD3. Поскольку напряжения u_a , u_b имеют одинаковую полярность, но $u_b > u_a$, для потенциала $\varphi_d(+)$ можно записать

$$\varphi_d(+)=u_b-\frac{u_b-u_a}{2x_a}x_a=\frac{u_b+u_a}{2}, \quad (4)$$

где x_a – анодное реактивное сопротивление.

Как видно из рисунков 2а и 2б это вызывает уменьшение выпрямленного напряжения u_d на этапе коммутации γ , что сказывается и на среднем значении выходного напряжения

$$U_d=U_{d0}-\Delta U_{d\gamma}, \quad (5)$$

где U_{d0} – напряжение на выходе выпрямителя при холостом ходе ($I_d=0$);

$U_{d\gamma}$ – среднее значение коммутационного снижения выпрямленного напряжения (рисунок 2б)

Эту величину определяют по формуле, которая применима при анализе работы всех выпрямителей встречающихся в промышленности

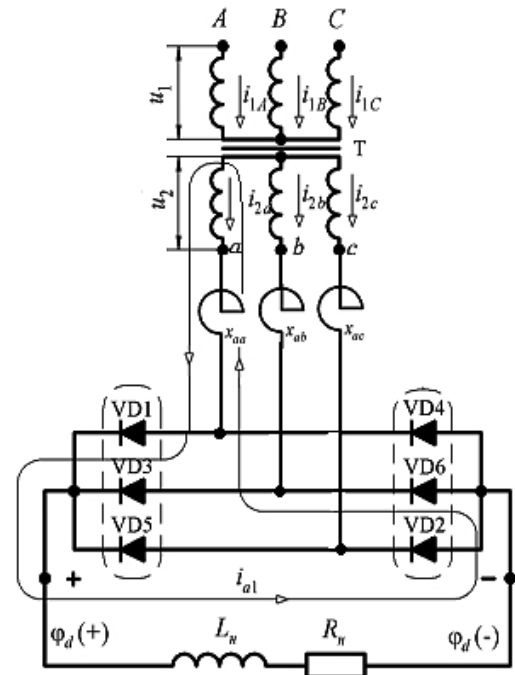


Рисунок 1 – Схема трехфазного мостового выпрямителя с учетом паразитных индуктивностей

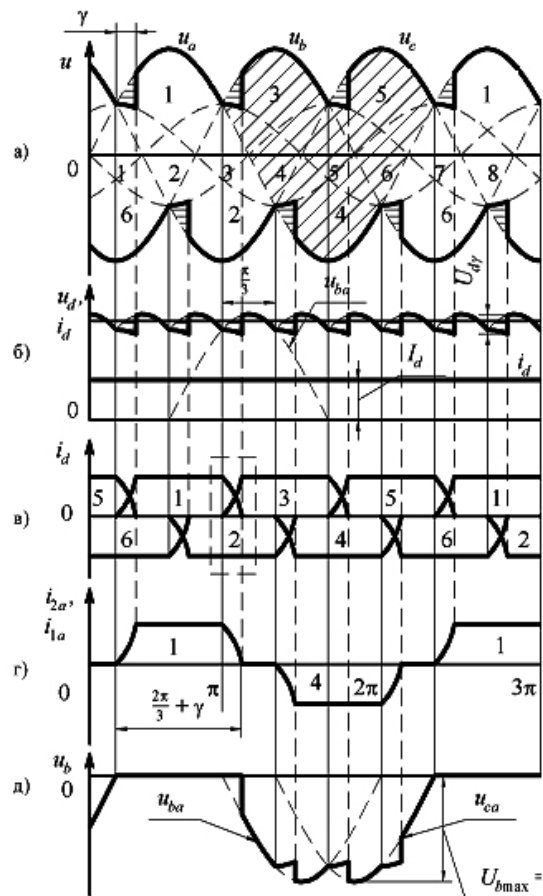


Рисунок 2 – Временные диаграммы тока и напряжений с учетом паразитных индуктивностей

$$\Delta U_{dj} = \frac{m x_a I_d}{2\pi} \quad (6)$$

С использованием выражений (5) и (6) находим формулу для расчета среднего значения напряжения на нагрузке [3]

$$U_d = U_{d0} - \frac{m x_a I_d}{2\pi} \quad (7)$$

где m – число фаз схемы выпрямления.

Выводы: Влияние вентильных преобразователей на питающую сеть возможно уменьшить путем увеличения фазности системы, при этом происходит взаимная компенсация гармоник на шинах источника питания, обеспечивается большая электромагнитная совместимость технических средств и минимизируется воздействие кондуктивных ЭМП.

Введение фильтров на вход системы также позволяет снизить величину коэффициента несинусоидальности системы, что также уменьшает воздействие ЭМП. Рассчитывая коэффициенты фильтра для прямой, обратной и нулевой последовательности основной частоты можно определить мгновенное значение результирующего несинусоидального сигнала. Учитывая, что уровень высших гармоник в некоторых режимах может достигать значений, в 3-5 раз превышающий нормальные режимы, коэффициент ослабления для быть равен 10-15 и рассчитан на максимально широкий диапазон частот.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Висящев, А.Н. Качество электрической энергии и электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах / А.Н. Висящев. -Иркутск, 1997. -92 с.

2 Высшие гармоники в сетях электроснабжения 0,4 кВ / В.С. Петухов [и др.] // Новости электротехники. -2002. -№6. -С. 24-29.

3 Арриллага, Д. Гармоники в электрических системах / Д. Арриллага, Д. Бредли, Г. Боджер. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -309 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромагнитная помеха, кондуктивность, электромагнитная совместимость, электрическая сеть, вентильный преобразователь

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Клеутин Владислав Иванович, ассистент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Лебедева Валентина Васильевна, аспирант «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Малаенко Олег Анатольевич, аспирант «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА

«Омский институт водного транспорта», филиал ФГОУ ВПО
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, С.И. Петров, А.А. Руппель, К.В. Хацевский

MODELLING AND CALCULATION OF INDUCTION ELECTRIC HEATING SYSTEMS

«Omsk institute of water transport», branch «Novosibirsk state academe of water transport»

D.A. Zubanov, V.I. Kleutin, S.I. Petrov, A.A. Ruppel, K.V. Hacevskiy

Making an available analytical method of calculations of induction systems, allowing to organize an interconnected optimization of electromagnetic and termotechnical descriptions of heaters is considered in this paper.

Рассмотрено создание доступного аналитического метода расчетов индукционных систем, позволяющих проводить взаимосвязанную оптимизацию электромагнитных и теплотехнических характеристик нагревателей.

Проточные индукционные нагреватели жидкостей и газов конструктивно аналогичны трансформаторам. В электронагревателях такого типа вторичные обмотки в виде тонкостенных цилиндров играют роль промежуточных нагревателей для нагрева непроводящих материалов – жидкостей и газов. В настоящей работе приводится описание доступного аналитического метода расчётов индукционных систем, позволяющих проводить взаимосвязанную оптимизацию электромагнитных и теплотехнических характеристик нагревателей.

Для количественной оценки интегральных электромагнитных параметров нагревателя прежде всего необходимо исследовать синусоидальное электромагнитное поле в объёме, включающем в себя цилиндрические элементы нагревателя и непроводящего пространства между ними. При строгом подходе исследуемое поле является трёхмерным и его математи-

ческое описание при произвольных геометрических размерах элементов конструкции оказывается достаточно сложным.

Вместе с тем конструкция нагревателя имеет ряд специфических особенностей, которые позволяют принять совокупность аргументированных допущений, позволяющих поставить и аналитически решить задачу теории поля для объёма нагревателя. Толщина стенок цилиндров нагревателя и расстояния между соседними цилиндрами весьма малы по сравнению с высотой проводящих элементов. При таких соотношениях с высокой точностью можно считать, что в тонкостенных цилиндрических элементах и в «щелевых» пространствах с параллельными границами между ними существует одномерное синусоидальное электромагнитное поле, возбуждённое магнитным потоком в сердечнике магнитопровода. Таким образом, при расчёте одномерного электромагнитного поля в дискретной одномерной многослойной среде можно воспользоваться плоской развёрткой системы магнитопровод-индуктор-нагреватель, схема которой приведена на рисунке 1.

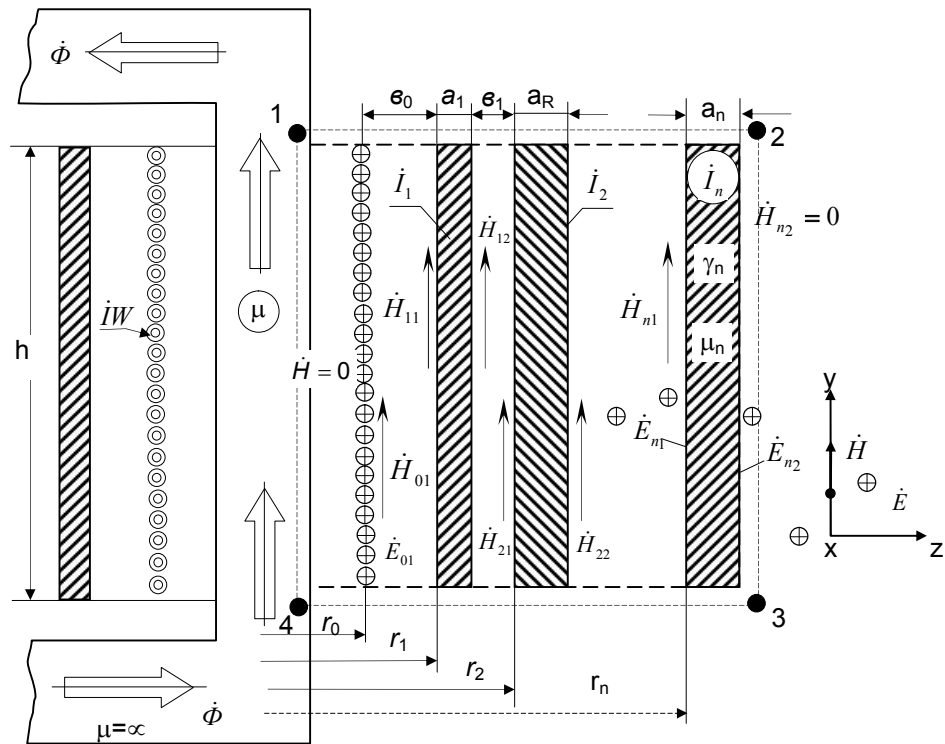


Рисунок 1 – Обобщённая конструктивная схема индукционного электронагревателя

В целях упрощения решения задачи в целом будем также считать, что магнитопровод выполнен из идеального ферромагнетика ($\mu_{Fe} = \infty$) и, следовательно, при любом значении индукции магнитная напряжённость в нём равна нулю ($\dot{H}_{Fe} = 0$). Исходя из этих допущений и на основании непрерывности касательных составляющих вектора магнитной напряжённости на пассивных границах разделения сред можно принять, что и во всём пространстве, ограниченном поверхностью r_0 , магнитное поле будет отсутствовать, а при переходе через эту поверхность магнитная напряжённость ступенчато изменяется и принимает значение

$$\dot{H}_{01} = -j = -\frac{i \cdot w}{h}.$$

С помощью закона полного тока можно получить следующие соотношения. Если составить циркуляцию вектора \dot{H}_{Fe} по замкнутому контуру внутри магнитопровода и учесть, что $H_{Fe} = 0$, а с контуром сцеплены токи в первичной обмотке и во всех вторичных элементах нагревателя, то получим: $i \cdot w + i_1 + i_2 + \dots + i_n = 0$, то есть алгебраическая сумма токов первичного и вторичных контуров в нагревателе тождественно равны нулю

$$i \cdot w + \sum_{k=1}^n I_k = 0.$$

Аналогичное уравнение можно составить для контура (1-2-3-4-1) (см. рисунок 1), охватывающего индуктор и все элементы нагревателя. Учитывая принятые положения найдём, что на внешней поверхности всей системы напряжённость магнитного поля также тождественно равна нулю.

Требуется рассчитать одномерное синусоидальное электромагнитное поле в кусочно-

однородной слоистой среде, ограниченной поверхностями $r_0 \leq r \leq r_n + a_n$, если заданы геометрические размеры системы (a_k, b_k, h_k, l_k) и физические характеристики слоёв (γ_k, μ_k) , а также условия на внешних границах расчётной области в виде:

$$\dot{H}_{01} = -\frac{j \cdot w}{h} = -j \cdot w_{1,0}; \quad \dot{H}_{n2} = 0.$$

При решении задачи воспользуемся принципом построения схем замещения слоистых систем, которые хорошо зарекомендовали себя при исследовании электромагнитных полей в электрических машинах и других электротехнических устройствах. Неотъемлемым элементом такой схемы замещения является четырёхполюсник, аппроксимирующий расчётную подобласть с трёхэлементной схемой замещения, параметры которой определяются путём приведения общих решений уравнений Максвелла или Лапласа для векторов поля \vec{E} и \vec{H}

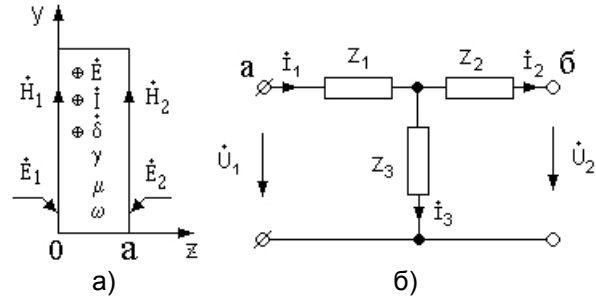


Рисунок 2 – Схема замещения расчётной подобласти

к стандартным уравнениям четырёхполюсника. Используем этот подход для анализа рассматриваемой электромагнитной системы с разделением её на подобласти. На рисунке 2а изображено поперечное сечение (a, h) обобщённого элемента, обтекаемого током \vec{I} . На границах $z=0$ и $z=a$ заданы произвольно магнитные напряжённости \vec{H}_1 и \vec{H}_2 .

Вектор электрической напряжённости в расчётной подобласти удовлетворяет уравнению Гельмгольца

$$\frac{\partial^2 \vec{E}}{\partial z^2} = p^2 \cdot \vec{E} = j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \gamma \cdot \vec{E}. \tag{1}$$

Общее решение этого уравнения представим в виде комбинации гиперболических функций

$$\vec{E} = C_1 \cdot \cosh(pz) + C_2 \cdot \cosh[p(a-z)]. \tag{2}$$

Векторы \vec{E} и \vec{H} связаны вторым уравнением Максвелла

$$\vec{H} = -\frac{1}{j \cdot \omega \cdot \mu} \cdot \frac{\partial \vec{E}}{\partial z} = -\frac{p}{j \cdot \omega \cdot \mu} \cdot (C_1 \cdot \sinh(pz) + C_2 \cdot \sinh[p(a-z)]). \tag{3}$$

Постоянные C_1 и C_2 определяются из граничных условий $\dot{H}(0) = \dot{H}_1$ и $\dot{H}(a) = \dot{H}_2$. В итоге при произвольно заданных значениях \dot{H}_1 и \dot{H}_2 имеем:

$$\vec{E} = \frac{j \cdot \omega \cdot \mu}{p \cdot \text{sh}(pa)} \cdot \{ \dot{H}_1 \cdot \cosh[p(a-z)] - \dot{H}_2 \cdot \cosh(pz) \}; \tag{4}$$

$$\vec{H} = \frac{1}{\text{sh}(pa)} \cdot \{ \dot{H}_2 \cdot \sinh(pz) + \dot{H}_1 \cdot \sinh[p(a-z)] \}. \tag{5}$$

Отметим, что в соответствии с законом полного тока значения \dot{H}_1 и \dot{H}_2 связаны соотношением:

$$\dot{H}_1 \cdot h - \dot{H}_2 \cdot h = i.$$

Если левую и правую части в (4) умножить на $\ell h/h$, а (5) на $-\ell$ и ввести обозначения:

$$\ell \cdot \vec{E}(0) = \dot{U}_1; \quad \ell \cdot \vec{E}(a) = \dot{U}_2; \quad \dot{H}_1 \cdot h = \dot{I}_1; \quad \dot{H}_2 \cdot h = \dot{I}_2,$$

где ℓ – есть средняя длина расчётной подобласти, то для левой границы ($z=0$) получим значение U_1 , а для правой ($z=a$) – U_2 :

$$\dot{U}_1 = \frac{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \ell}{p \cdot h \cdot \sinh(pa)} \cdot [\dot{I}_1 \cdot \cosh(pa) - \dot{I}_2]; \tag{6}$$

$$\dot{U}_2 = \frac{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot \ell}{p \cdot h \cdot \sinh(pa)} \cdot [\dot{I}_1 - \dot{I}_2 \cdot \cosh(pa)]. \tag{7}$$

Тогда уравнения (6), (7) преобразуются в систему:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = \dot{U}_2 \cdot \cosh(pa) + i_2 \frac{p \cdot l \cdot \sinh(pa)}{\gamma h}; \\ i_1 = \dot{U}_2 \frac{\gamma \cdot h \cdot \sinh(pa)}{pl} + i_2 \cdot \cosh(pa), \end{cases} \quad (8)$$

аналогичную основным уравнениям симметричного пассивного четырёхполюсника:

$$\begin{cases} \dot{U}_1 = A\dot{U}_2 + Bi_2; \\ i_1 = C\dot{U}_2 + Di_2. \end{cases} \quad (9)$$

Рассматриваемому четырёхполюснику соответствует трёхэлементная Т-образная схема замещения (см. рисунок 2б) с параметрами:

$$z_1 = z_2 = \frac{A-1}{C} = \frac{p \cdot l \cdot [\cosh(p \cdot a) - 1]}{\gamma \cdot h \cdot \sinh(p \cdot a)} = \frac{p \cdot l}{\gamma \cdot h} \cdot \operatorname{tgh}\left(\frac{p \cdot a}{2}\right); \quad z_3 = \frac{p \cdot l}{\gamma \cdot h \cdot \sinh(p \cdot a)}. \quad (11)$$

Эти выражения справедливы и для неэлектропроводных областей ($\gamma = 0$), что соответствует промежуткам между проводящими оболочками. При $\gamma \rightarrow 0$ из (11) получаем:

$$z_1 = z_2 = \frac{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{2 \cdot h}; \quad z_3 = \infty. \quad (12)$$

Как видно, на непроводящем участке

$$i_1 = i_2, \quad i_3 = 0,$$

а общее реактивное сопротивление становится равным

$$z = z_1 + z_2 = \frac{j \cdot \omega \cdot \mu \cdot l}{h} \cdot b, \quad (13)$$

где b – размер непроводящего пространства между соседними элементами нагревателя,

$$b = 2a.$$

Формирование каскадной схемы замещения нагревателя осуществим на основании условий непрерывности касательных составляющих векторов $\dot{E}(\dot{U})$ и $\dot{H}(i)$ на смежных границах проводящих и непроводящих подобластей [1-3]. Для соблюдения этих условий необходимо в порядке чередования расчётных подобластей соединить в каскад четырёхполюсники (или их схемы замещения), аппроксимирующие эти подобласти. На входе схемы в соответствии с принятым условием следует расположить источник тока $J = i \cdot w$. В соответствии с законом электромагнитной индукции напряжение на этом источнике равно

$$\dot{U}_y = \dot{U}_0 = j \cdot \omega \cdot \Phi = \frac{U_{ex}}{w}.$$

В типовом звене для последнего n -го элемента выходные зажимы должны быть разомкнуты, так как за пределами системы $\dot{H}_{2n} = 0$. При практических расчётах вся каскадная схема замещения может быть приведена к зажимам первичной обмотки (\dot{U}_{ex}, i) как это и принято в общей теории трансформаторов. Для этого необходимо все сопротивления схемы умножить на коэффициент приведения $K_{np} = w^2$.

На рисунке 3 представлена приведённая к первичной обмотке каскадная схема замещения с двумя короткозамкнутыми цилиндрами двухэлементного индукционного нагревателя.

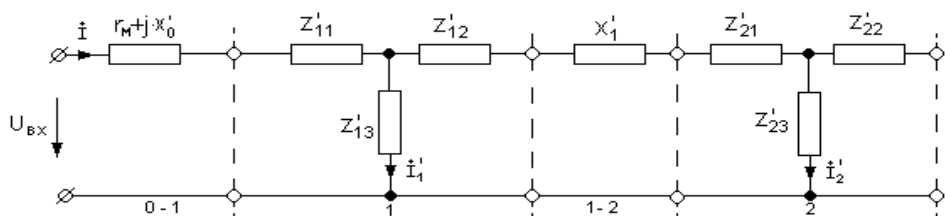


Рисунок 3 – Приведённая каскадная схема замещения с двумя короткозамкнутыми цилиндрами двухэлементного индукционного нагревателя

Эта схема содержит четыре типовых звена, два из которых аппроксимируют проводящие цилиндры, а два других – воздушные промежутки между цилиндрами. Параметры схемы определяются по приведённым выше выражениям (11), (12), учитывающим геометрию и физические свойства всех конструктивных элементов устройства. Особенностью звена 0-1 является то, что наря-

ду с приведённым реактивным сопротивлением рассеяния x_0

$$x_0 = \frac{\omega \cdot \mu_0 \cdot I_0}{h} \cdot b_0 \cdot w^2,$$

оно включает в себя и активное сопротивление первичной обмотки r_m .

Выводы: Рассматриваемый метод расчёта индукционных систем нагрева позволяет анализировать конструктивные схемы при любом пространственном расположении индуктора на магнитопроводе относительно вторичных проводящих элементов нагревателя. Перемещение первичной обмотки (индуктора) приводит к перемещению места подсоединения источника в каскадной схеме замещения и изменению условий на граничных поверхностях нагревателя. Следовательно, этот конструктивный фактор можно также рассматривать как оптимизационный при проведении функционально-стоимостного анализа разрабатываемых систем нагрева.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Химические аппараты с индукционным обогревом / С.А. Горбатков [др.]. -М.: Химия, 1985. -176 с.

2 Елшин, А.И. Расчет ширины кольцевого канала теплообменника трансформатора-нагревателя / А.И. Елшин // Науч. вестн. НГТУ. -1999. -№2(7). -С. 78-90.

3 Инкин, А.И. Принципы синтеза нелинейных каскадных схем замещения электрической машины / А.И. Инкин, Ю.Г. Бухгольц // Электричество. -1979. -№6. -С. 25-31.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: индукционные нагреватели, аналитический метод расчёта, электромагнитное поле, схема замещения, симметричный пассивный четырёхполюсник

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Клеутин Владислав Иванович, ассистент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Петров Святослав Иванович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Хацевский Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ МОМЕНТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет им. В.В. Куйбышева»

Региональное диспетчерское управление энергосистемы Приморского края, филиал ОАО «СО ЕЭС»

В.С. Пастухов, К.М. Иванов

THE WAY OF EFFECTIVE REVEALING THE MOMENT OF THE ARISING THE ASYNCHRONOUS REGIME IN POWER SYSTEM
«Far eastern state technical university named V.V. Kujbyshev»
«Regional dispatching management of a power supply system of Primorski region»
V.S. Pastukhov, K.M. Ivanov

The new method of revealing the moment of the arising the asynchronous regime is offered. The method is founded on checking sign of the velocities of the model voltages change to at angles of electric transmission within the range of from 90 before 270 degrees.

Представлен новый способ выявления асинхронного режима, использующий дистанционно-угловой принцип. Способ основан на контроле моделируемого напряжения в электрическом центре качаний при углах электропередачи в диапазоне от 90 до 270 градусов.

Асинхронный режим (АР) в электроэнергетической системе (ЭЭС) является следствием нарушения устойчивости параллельной работы двух и более групп генерирующих источников. Непрекращённый АР приводит к развитию тяжёлых системных аварий с нарушением электроснабжения потребителей на больших территориях. Особенно опасны случаи, когда АР недопустим даже кратковременно из-за ограничений, связанных с динамикой его развития и технологическими особенностями электростанций. В таких ситуациях автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР), входящая в структуру противоаварийной автоматики (ПА) ЭЭС, должна незамедлительно выявлять этот режим и производить деление системы (ДС) на части, работающие с разными частотами.

Способы обнаружения АР в момент его возникновения, применяемые в локальных устройствах АЛАР, основаны на контроле знака второй производной по времени от угла δ электропередачи, эквивалентирующей ЭЭС относительно контролируемого сечения при двухмашинных АР [1]. Изменение знака этой производной в сторону совпадения со знаками самого угла и взаимного скольжения (первой производной угла) свидетельствует об ускорении процесса и потере устойчивости. Следовательно, селективное обнаружение АР в момент его возникновения зависит только от точности оценки знаков δ и его производных (скольжения и ускорения).

В современных микропроцессорных устройствах АЛАР применяются различные методы вычисления угла δ , основанные на моделировании напряжений в смежных узлах энергосистемы по режимным параметрам [2, 3]. В этих методах заложена не всегда допустимая погрешность вычисления, которая может сказаться на точности фиксации момента возникновения АР в сторону снижения селективности к синхронным качаниям и внешним АР [4]. Кроме того, существуют ограничения по условиям моделирования в сложных, многосвязных электрических сетях. Эти ограничения не характерны для дистанционного принципа, но на его основе нельзя селективно выявить момент нарушения устойчивости из-за неоднозначной связи входного сопротивления сети с углом δ .

В работе впервые предлагается выявлять АР в энергосистеме на начальном цикле, основываясь на разработанном для этого дистанционно-угловом принципе. Его сущность заключается в том, чтобы получать информацию о параметрах распознавания АР, к которым относятся угол δ и сопротивление Z_c до ЭЦК, непосредственно из полного сопротивления Z , не прибегая к моделированию напряжений в смежных узлах энергосистемы. Такой принцип позволяет объединить достоинства известных углового и дистанционного принципов и нивелировать их недостатки, отмеченные выше.

Для реализации дистанционно-углового принципа разработан метод ортогональных функций [4], согласно которому параметры распознавания АР вычисляются через проекции Z_m и Z_{om} вектора Z на оси R' и jX' , соответственно, повернутые в комплексной плоскости относительно осей R и jX на некоторый угол φ_k , дополняющий угол φ_3 эквивалентного сопротивления Z_3 электропередачи до 90°

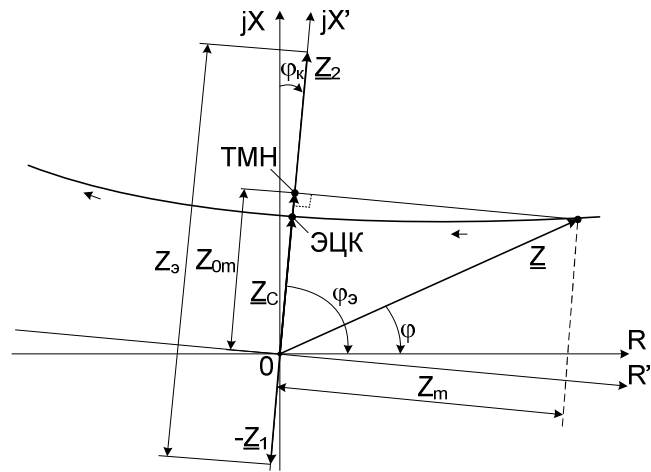


Рисунок – Ортогональные составляющие входного сопротивления сети

$$\varphi_3 = 90^\circ - \varphi_k. \quad (1)$$

При этом искомые проекции, представленные на рисунке, вычисляются по формулам:

$$Z_m = Z \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi); \quad (2)$$

$$Z_{om} = Z \cdot \cos(\varphi_3 - \varphi). \quad (3)$$

Фактически Z_m и Z_{om} относятся к точке минимального напряжения (ТМН) на электропередаче, определяя сопротивление до места подключения автоматики (контроля Z) и сопротивление, которое можно было бы измерить непосредственно в ТМН.

В предложенном методе принято допущение о совпадении с несущественной погрешностью ($\pm 2\%$) ТМН и ЭЦК в диапазоне рабочих углов $90^\circ < \delta < 270^\circ$, где производится выявление АР.

Здесь основополагающей для вычисления δ является его простая тригонометрическая связь с напряжением U_m в ТМН (ЭЦК), получаемая из векторной диаграммы электропередачи [1]:

$$U_m = Z_m \cdot I = U \cdot \sin(\varphi_3 - \varphi); \quad (4)$$

$$U_m = U_{m.max} \cdot \cos \frac{\delta}{2}, \quad (5)$$

где $U_{m.max} \approx U_{ном}$ при соотношении эквивалентных ЭДС от 0,8 до 1,25.

При выводе формулы (5) применены упрощения, вносящие погрешность менее 1%.

В предложенном способе [5] возникновение АР фиксируется, когда выполняется условие

$$\text{Sign}(U_m) \neq \text{Sign}(dU_m/dt) = \text{Sign}(D), \quad (6)$$

где D – вторая производная от U_m по времени, скорректированная так, что знак D всегда противоположен знаку ускорения при том, что в диапазоне $\delta < 180^\circ$ знак dU_m/dt является инверсным к знаку скольжения.

Исследования показали, что вычисляемое напряжение U_m соответствует углу δ с погрешностью не более 10° .

Таким образом, на базе принципиально нового подхода и предложенного метода ортогональных функций разработан способ, позволяющий обнаружить АР в момент его возникновения при сохранении селективности и устойчивости функционирования в других режимах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гоник, Я.Е. Обобщенные способы выявления асинхронного хода в энергосистеме / Я.Е. Гоник // Тр. ин-та «Энергосетьпроект». -М., 1974. -Вып.4. -С. 87-104.

2 Пат. 2204877 Российская Федерация, МПК7 Н02, Н3/48. Способ выявления и ликвидации асинхронного режима в электроэнергетической системе устройством автоматики / Якимец И.В. [и др.]. -Опубл. 20.05.2003. -8 с.

3 Пат. 2199807 Российская Федерация, МПК7 Н02, J3/24. Способ выявления асинхронного режима электропередачи / Эдлин М.А., Кац П.Я., Струков А.В. -Опубл. 27.02.2003. -8 с.

4 Иванов, К.М. Новые принципы автоматики ликвидации асинхронного режима на базе микропроцессорных комплексов в ОЭС Востока / К.М. Иванов, В.С. Пастухов // Энергетик. - 2008. -№12. -С. 7-9.

5 Пат. 2316100 Российская Федерация, МПК Н02, Н3/48. Способ выявления и ликвидации асинхронного режима в энергосистеме устройством автоматики / Пастухов В.С., Иванов К.М. -Опубл. 27.01.2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный режим, автоматика ликвидации асинхронного режима, устойчивость энергосистемы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Пастухов Виктор Степанович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «ДВГТУ»
Иванов Константин Михайлович, ведущий эксперт Приморского РДУ филиал ОАО «СО ЕЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС^ 690950, г. Владивосток, ул. Пушкинская, 10, ГОУ ВПО «ДВГТУ»
690091, г. Владивосток, ул. Западная, 29, Приморское РДУ филиал ОАО «СО ЕЭС»

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Красноярский институт железнодорожного транспорта, филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.Г. Туйгунова

MODERN APPROACHES TO AN ESTIMATION OF A CONDITION OF ISOLATION POWER TRANSFORMERS OF TRACTION SUBSTATIONS TAKING INTO ACCOUNT INFLUENCE OF CLIMATIC FACTORS
«Krasnoyarsk institute of a railway transportation», branch «Irkutsk state transport university»
A.G. Tujgunova

Classification of factors of influence of environmental conditions by influence on reliability of power oil transformers of traction substations is offered.

Предложена классификация факторов влияния климатических условий по воздействию на надежность силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций.

Проблема оценки фактического состояния изоляции энергетического оборудования в процессе эксплуатации является достаточно актуальной, особенно при отказе от методов

планово-предупредительного обслуживания и переходе на обслуживание по реальному техническому состоянию. Срок службы трансформатора определяет процесс снижения прочности изоляции при достижении минимально допустимого значения. Основными причинами ухудшения качества изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций (СМТ ТП) в процессе эксплуатации являются [1]:

- тепловое старение изоляции;
- динамический износ обмоток трансформатора (степень механического закрепления обмоток, в частности, отсутствие опасных деформаций, вызванных большими токами сквозных коротких замыканий);
- воздействие климатических факторов: сухой жаркий или дождливый и влажный климат, резкие перепады температуры воздуха за период работы СМТ ТП;
- старение вследствие развития частичных разрядов (ЧР) при рабочих напряжениях или атмосферных перенапряжениях (грозовых явлений).

Эти воздействия вызывают частичное разрушение электрической изоляции и ведут к образованию дефектов.

В результате изменения погодно-климатических факторов происходит изменение в изоляции СМТ ТП, следовательно, изменение фактических сроков их эксплуатации от нормативного срока – 25 лет. Такие изменения характеризуют климатическую адаптивность трансформаторов. Наибольшее значение среди всех климатических факторов, влияющих на эксплуатацию силовых трансформаторов тяговых подстанций, изменение свойств изоляционной системы, увлажнение их изоляции, имеют количество выпавших осадков, степень увлажненности воздуха; в сутки перепад температуры в весенний и осенний период составляет от минус 35 до плюс 15 градусов Цельсия (до 50° С и даже больше).

Предлагаемая классификация факторов влияния климатических условий по воздействию на надежность силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций. В общем виде модель влияния климатических факторов на надежность силовых трансформаторов тяговых подстанций может быть представлена как функция следующего вида

$$S = f[T(t), \sigma(t), \varphi(t), \alpha(t), v(t), Q(t), t], \quad (1)$$

- где S – обобщенные показатели влияния климата и погоды (холодного и жаркого);
 T – температура атмосферного воздуха;
 σ – средняя амплитуда суточных колебаний температуры воздуха;
 φ – относительная влажность воздуха;
 α – атмосферные явления, влияющие на надежность силовых трансформаторов;
 v – средняя скорость ветра;
 Q – суммарная солнечная радиация;
 t – время действия анализируемых колебаний температуры воздуха в течение года [2].

Предположим, что факторы не находятся между собой в функциональных зависимостях, тогда вероятности безотказной работы силового трансформатора тяговой подстанции, как системы, за время t представляются следующей формулой

$$S = \prod_k p_k [T(t)] \cdot p_k [\sigma(t)] \cdot p_k [\varphi(t)] \cdot p_k [a(t)] \cdot p_k [v(t)] \cdot p_k [Q(t)], \quad (2)$$

где $p_k [T(t)] \cdot p_k [\sigma(t)] \cdot p_k [\varphi(t)] \cdot p_k [a(t)] \cdot p_k [v(t)] \cdot p_k [Q(t)]$ – вероятности безотказной работы k -го элемента системы.

Основными элементами силового трансформатора, определяющими его техническое состояние, являются магнитопровод (сердечник) и обмотки.

Воздействия климатических факторов на изоляционную систему и, в целом, на надежность силовых трансформаторов, носят неуправляемый характер, поэтому математическим аппаратом исследования этого влияния является дисперсионный анализ и, в частности, методы рангового анализа. Методы априорного рангового анализа (ранговой корреляции) успешно применяют при исследовании сложных производственных процессов, планировании экспериментов для предварительного отсеивания малозначущих факторов.

По методике экспертной оценки составляется матрица рангов, при этом каждому фактору эксперт присваивает ранг в соответствии со значением фактора в оценке параметра оптимизации (числовой характеристики цели исследования). Применительно к влиянию

климатических факторов на силовой трансформатор как техническое изделие параметром оптимизации является балл влияния климата (рисунок).

Применение метода ранговой корреляции помогло выбрать существенные факторы, отсеять несущественные и найти значимость каждого показателя в системе факторов, позволив тем самым определить общую схему климатической адаптивности и влияния климата и погоды на силовые трансформаторы тяговых подстанций.

Предлагаемая классификация силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций по адаптивности. В соответствии с характером факторов, влияющих на состояние изоляционной системы силовых трансформаторов тяговых подстанций, необходимо различать структурную и климатическую адаптивность СМТ [3]. Под структурной адаптивностью понимают адаптивность СМТ при их эксплуатации в условиях, когда баллы влияния температуры окружающей среды, влажности воздуха, особенностей климата равны нулю или малы. Структурная адаптивность характеризует совершенство структурной схемы трансформатора независимо от климатических условий их эксплуатации.

Под климатической адаптивностью понимают степень приспособленности силовых трансформаторов к работе в условиях активного воздействия климатических факторов. Климатическая адаптивность СМТ ТП характеризуется потоком отказов, возникающих в результате действия климатических факторов.

Адаптивность силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций определяется сочетанием характеристик их структурной адаптивности S , климатической адаптивности в условиях воздействия низких климатических температур K_n и климатической адаптивности в условиях воздействия высоких климатических температур K_e . Общая структурная формула характеристик адаптивности СМТ ТП принимает вид

$$A = S \cdot K_n \cdot K_e, \quad (3)$$

где A – общий условный уровень адаптивности.

Структурная и климатическая адаптивности могут иметь уровни: низкие, высокие и оптимальные.

В случаях, когда параметры потока отказов силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций не изменяются под действием климатических факторов, они имеют абсолютную характеристику климатической адаптивности.

Численные показатели климатической адаптивности изоляционной системы СМТ ТП характеризуют степень их приспособленности к эксплуатации в данных климатических условиях. Они позволяют производить количественную оценку эксплуатационных свойств СМТ ТП в различных климатических условиях. К таким показателям относятся коэффициенты климатической адаптивности.

Заключение. Решение задачи комплексной оценки влияния климатических факторов на эксплуатационные свойства силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций включает информационно-логическую модель системы.

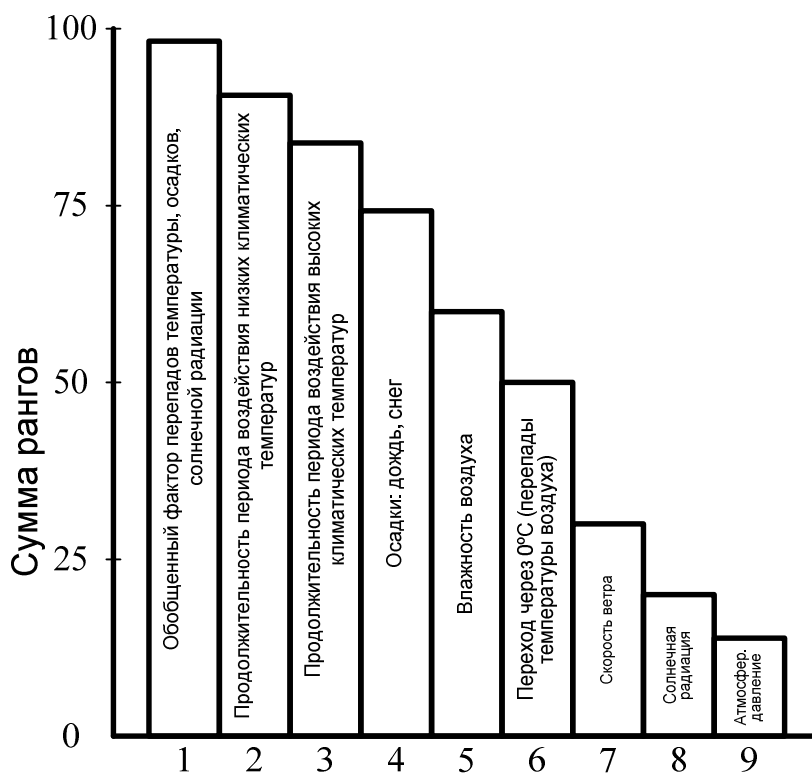


Рисунок – Значимость климатических факторов в оценке параметра оптимизации

В основе возникновения климатических отказов лежит воздействие климатической факторов на бумажно-масляную изоляцию СМТ ТП и на трансформатор в целом. Изменение свойств изоляции в результате старения под воздействием климатических факторов внешней среды вызывает постепенные износные отказы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Туйгунова, А.Г. Продление срока службы силовых трансформаторов тяговых подстанций на основе совершенствования технического содержания изоляционной системы с учетом особенностей климата / А.Г. Туйгунова // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2009. -Вып.22. -С. 51-54.

2 Дмитриенко, Е.Н. Моделирование влияния климатических факторов на эксплуатационные свойства машинных агрегатов / Е.Н. Дмитриенко // Вестн. КрасГАУ. -2009. -№5. -С. 152-156.

3 Куропаткин, В.П. Оптимальные и адаптивные системы / В.П. Куропаткин. -М.: Высш. шк., 1980. -287 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: силовые трансформаторы тяговых подстанций, изоляция, климатические факторы, адаптивность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Туйгунова Альбина Григорьевна, аспирант «Красноярский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660028, г. Красноярск, ул. Ладо Кецховели, 89, «Красноярский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА

Красноярский институт железнодорожного транспорта, филиал ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

А.Г. Туйгунова

MAINTENANCE OF WORKING CAPACITY OF SYSTEM OF TRACTION ELECTROSUPPLY TAKING INTO ACCOUNT CLIMATE INFLUENCE

«Krasnoyarsk institute of a railway transportation», branch «Irkutsk state transport university»

A.G. Tujgunova

System maintenance operation and the organisation of the control of a condition of transformers of traction substations on an example of measurement of moisture content in system «oil-paper» of the power transformer is considered.

Рассмотрено системное техническое обслуживание и организация контроля состояния трансформаторов тяговых подстанций на примере измерения влагосодержания в системе «масло-бумага» силового трансформатора.

Использование сложного и дорогостоящего оборудования требует поддержания его работоспособности и надежности. Современный уровень развития электроэнергетики диктует высокие требования к надежности оборудования как следствию эффективной и экономичной ее работы и базируется на обязательном применении новейших средств контроля, диагностики и мониторинга электротехнического оборудования, в частности, силовых маслонаполненных трансформаторов, требует комплексного подхода к решению инженерно-технических проблем. Повреждения или отклонения от нормального режима работы силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций (СМТ ТП) могут быть вызваны различными причинами [1]. В большинстве случаев их повреждения происходят не сразу, а после воздействия неблагоприятных факторов, к которым относятся и климатические воздействия. Для поддержания электрооборудования тяговых подстанций в работоспособном состоянии требуется системное техническое обслуживание.

Два подхода организации контроля состояния трансформаторов тяговых подстанций. Сохранение изоляцией высоких диэлектрических характеристик жизненно важно для трансформаторов тяговых подстанций. Электрическая изоляция силового маслонаполненного трансформатора является композиционной, состоящей из жидкого диэлектрика – трансформаторного масла, являющаяся одновременно и охлаждающей средой, и изолирующей токоведущие части (магнитопровод и обмотки), и твердого диэлектрика – бумажная

(бумага, электротехнический картон) изоляция обмоток. Задача поддержания надежности и работоспособности силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций эффективно решается следующими мероприятиями (рисунок), обеспечивающими локализацию аварий на стороне потребителя и восстановление нормального режима для оставшегося в работе оборудования:

- Технической диагностикой СМТ ТП методами неразрушающего контроля под рабочим напряжением;
- Применением систем непрерывного контроля (мониторингом) и обслуживанием по фактическому состоянию [2].

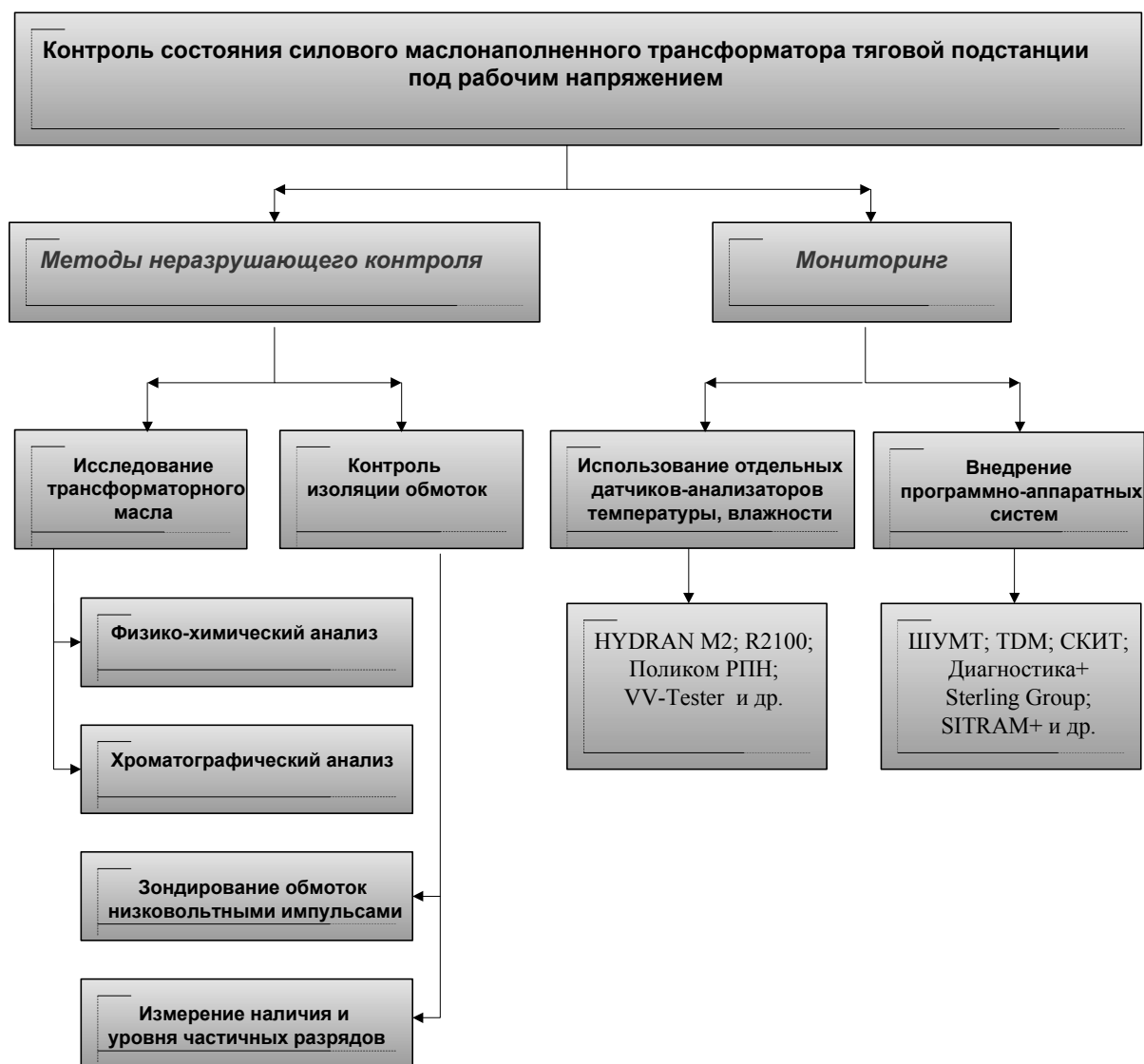


Рисунок – Контроль состояния СМТ ТП под рабочим напряжением

Задачей диагностического контроля является определение технического состояния и прогнозирование работоспособности электротехнического оборудования системы тягового электроснабжения, определение средств восстановления и продления работоспособности. Целью диагностического контроля является максимальное использование фактического ресурса электрооборудования и предотвращение его аварийного отказа.

Диагностика и мониторинг обеспечивают контроль фактического состояния трансформаторов в режиме реального времени и обнаружение отклонений значений контролируемых параметров от нормальных, установление и изучение признаков, неисправностей, характеризующих развитие дефектов в узлах и системах трансформаторов тяговых подстанций. Система мониторинга – это сложный программно-аппаратный комплекс, построенный на основе распределенной системы интеллектуальных измерителей, системы передачи информации по оптоволоконным или кабельным линиям связи, центральной компьютерной станции и мощного программного обеспечения. Система непрерывного контроля позволяет кон-

тролировать влагосодержание масла, следовательно, и увлажнение целлюлозной изоляции в местах с температурой наиболее нагретой точки обмотки, которая зависит от токов нагрузки и температуры окружающей среды. Для расчета температуры наиболее нагретой точки обмотки используются исходные данные, получаемые от датчиков-анализаторов, установленных на трансформаторах.

Псевдоравновесная система СМТ ТП. Находящийся в эксплуатации под рабочим напряжением силовой маслонаполненный трансформатор можно рассматривать как псевдоравновесную систему [3], состоящую из систем и узлов: магнитопровода, обмоток, масла, системы регулирования напряжения, высоковольтных вводов, маслонасосов, стрелочных маслоуказателей, резиновых уплотнений. СМТ ТП работает в постоянно изменяющейся температуре и окружающей среды, и масла. Растворенная вода, особенно в комбинации с продуктами старения масла и кислотами, существенно влияет на диэлектрические характеристики бумажно-масляной изоляции. Колебания температуры масла и окружающего воздуха существенно влияют на растворимость дефектных газов в масле и их коэффициент диффузии. Изменяющаяся температура климата приводит к непрерывному изменению состояния системы: изменению температуры масла, температуры наиболее нагретой точки обмоток трансформатора, поэтому установление полного равновесия практически невозможно. Скорость изменения температуры и скачкообразное изменение нагрузки сглаживает бумажно-масляная изоляция. Определение влажности бумажной (твердой) изоляции (по показателям тангенса угла диэлектрических потерь, влагосодержанию, удельному объемному сопротивлению) и определение степени полимеризации бумажной изоляции обмоток решаются применением датчиков температуры и влажности. Решение этих задач диагностики позволяет дать ответ на вопрос о ресурсе СМТ ТП по этим показателям.

Зарубежный опыт: мониторинг состояния силовых маслонаполненных трансформаторов. Рассмотрим современную систему мониторинга состояния силового маслонаполненного трансформатора канадской компании Syrotek, входящей в состав корпорации General Elektrik (GE); основана на контроле объектов, выполняемом в три этапа.

I этап – режим периодических замеров. На этом этапе выполняется диагностика состояния трансформаторного масла: влагосодержание, анализ растворенных газов в масле, его диэлектрические свойства, анализ антиоксидантов, определение фурановых соединений, измерение кислотности, механических примесей.

II этап – включение трансформатора в систему мониторинга (постоянный контроль в режиме реального времени газов H_2 и CO). Включает в себя подсистему Hydran. На этом этапе производятся замеры отклонений от норм и тренды газообразования и температуры масла. Раздельный анализ газового состава позволяет облегчить диагностику неисправности. Необходимо отметить, что при пробое жидкого диэлектрика – трансформаторного масла – образуется характерный ряд газов – водородные соединения, а при разрушении твердой (бумажной) изоляции обмоток образуются в большей степени окислы углерода CO и CO_2 .

На этом же этапе мониторинг влагосодержания (Aquaoil) позволяет оценивать диэлектрические свойства трансформаторного масла, стойкость его к пробое. Влагосодержание масла позволяет по эмпирическим зависимостям перейти к влагосодержанию твердой (бумажной) изоляции. Применение Aquaoil совместно с прибором IDA-200 для диагностики изоляции позволяет с максимальной достоверностью оценивать степень старения бумажно-масляной изоляции.

III ступень – система комплексного мониторинга ключевых параметров трансформатора с помощью программируемого микроконтроллера Faradey TMCS. Контролируются физические, химические и электрические параметры элементов конструкции силового маслонаполненного трансформатора. Результаты измерений дают возможность создать диагностическую модель (локальный перегрев обмоток, старение изоляции, влагосодержание, содержание газов, эффективность системы охлаждения, контроль регулирования напряжения РПН, температурная модель, нагрузка). Особого внимания заслуживает модель локального перегрева обмоток. Ее актуальность возрастает при высоких температурах окружающей среды в режимах максимальной нагрузки. Модель характеризует степень старения бумажной изоляции и позволяет идентифицировать локальные дефекты (пузырьки воздуха и расслоение изоляции в зоне локального перегрева). Таким образом, на третьей ступени система мониторинга производит учет влияния климатических факторов на изоляцию обмоток трансформатора.

В нашей стране системы непрерывного контроля электрооборудования тяговых подстанций применяются на Горьковской, Свердловской и Октябрьской железных дорогах. С переходом от планово-предупредительной системы к обслуживанию по фактическому состоянию имеется необходимость более широкого их применения.

Выводы. Мониторинг состояния бумажно-масляной изоляции силовых маслонаполненных трансформаторов тяговых подстанций обеспечивает оценку текущего состояния оборудования в режиме реального времени и обнаружение отклонений значений от нормальных, установление и изучение признаков, неисправностей, характеризующих развитие дефектов в узлах и системах СМТ ТП. Диагностика позволяет точно указать оставшийся ресурс каждого элемента, а при взаимосвязи с мониторингом основных параметров перейти к техническому обслуживанию по фактическому состоянию, что позволит избежать аварийных ремонтов.

Непрерывный контроль влагосодержания в системе «масло-бумага» трансформатора на протяжении длительного периода времени и принятие соответствующих мер при внезапном росте или недопустимо высоком влагосодержании поможет продлить срок эксплуатации трансформатора, сохранить высокие его технические характеристики и эксплуатационную надежность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Савченко, Е.А. Опыт диагностики технического состояния трансформаторов тяговых подстанций для повышения надежности и продления срока службы / Е.А. Савченко, А.Г. Туйгунова // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 275-277.

2 Туйгунова, А.Г. Системы диагностики трансформаторов тяговых подстанций в условиях современных технологий обслуживания / А.Г. Туйгунова // Информационные системы контроля и управления в промышленности и на транспорте: сб. науч. тр. / ИрГУПС. -Иркутск, 2007. -Вып.15. -С. 24-28.

3 Аракелян, В.Г. Практическая физико-химическая диагностика маслонаполненного оборудования в простейшей системе мониторинга / В.Г. Аракелян // Электротехника. -2008. -№12. -С. 29-40.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: силовые маслонаполненные трансформаторы тяговых подстанций, контроль состояния, диагностика, мониторинг
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Туйгунова Альбина Григорьевна, аспирант «Красноярский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660028, г. Красноярск, ул. Ладо Кецховели, 89, «Красноярский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОВЫШЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВЗОВ ОДНОФАЗНО-ПОСТОЯННОГО ТОКА

ГОУ ВПО «Дальневосточный государственный университет путей сообщения»

Ю.М. Кулинич, Ю.С. Кабалык

IMPROVEMENT OF THE FORM OF THE SINUSOID OF PRESSURE IN THE CONTACT NETWORK AT WORK OF ELECTRIC LOCOMOTIVES WITH ONE PHASE OF THE DIRECT CURRENT

«Far East state transport university»

Yu.M. Kulinich, Yu.S. Kabalyk

The problem of distortion of the form of pressure in a contact network is considered at work of an electric locomotive with one phase of a direct current with rectifiers and inverters. It is offered allowing to improve the device the form of this pressure. Results of mathematical modelling of work of the device are resulted.

Рассмотрена проблема искажения формы напряжения в контактной сети при работе электровоза однофазно-постоянного тока с выпрямительно-инверторными преобразователями. Предложено устройство позволяющее улучшить форму этого напряжения. Приведены результаты математического моделирования работы устройства.

На железных дорогах переменного тока все большее распространение получают электровозы однофазно-постоянного тока с зонно-фазным регулированием напряжения на тяговых двигателях. К таким электровозам относятся локомотивы серий ВЛ80Р, ВЛ85, ВЛ65, ЭП1В/И, 2ЭС5К «Ермак» и др. В качестве силовых установок на этих электровозах установ-

лены восьмиплечевые выпрямительно-инверторные преобразователи (ВИП). Основными недостатками таких преобразователей являются относительно низкий коэффициент мощности, а также низкое качество потребления электроэнергии. При работе таких электровозов наблюдаются значительные искажения формы напряжения в контактной сети. Эти искажения становятся тем сильнее, чем дальше от тяговой подстанции находится работающий электровоз [1].

Качество электроэнергии регламентируется ГОСТ 13109-97. Одним из показателей качества является коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения КУ. Он характеризует степень отклонения формы напряжения от синусоиды. При несоблюдении потребителем требований стандарта, на него накладываются штрафные санкции в виде надбавки к тарифу до 10%. К тому же искажения напряжения в контактной сети приводят к появлению дополнительных потерь.

Причиной искажений напряжения являются процессы коммутации в выпрямительно-инверторных преобразователях электровоза. Во время коммутации вентилей ВИП вторичная обмотка трансформатора оказывается накоротко замкнутой открывающимся и закрывающимся вентилями. В этот момент напряжение в обмотке резко уменьшается. На первичной обмотке трансформатора, и соответственно на токоприемнике, напряжение не может резко уменьшиться, поскольку контактная сеть представляет собой совокупность распределенных индуктивностей и емкостей. Вместо этого в ней возникают свободные колебания токов и напряжений [1].

Одним из способов улучшения формы напряжения в контактной сети является способ разнофазного управления выпрямительно-инверторными преобразователями электровоза. Идея такого способа управления заключается в разнесении во времени начал и окончаний коммутации различных групп преобразователей, что позволяет уменьшить скачек принужденного напряжения в начале и в конце интервала коммутации. В 1985 г. ВНИИЖТом проводились испытания электровоза ВЛ85-001, оборудованного устройством разнофазного управления тиристорными преобразователями [2]. В ходе этих испытаний выяснилось, что разнофазное управление уменьшает как провалы напряжения от фазной коммутации, так и амплитуды высокочастотных колебаний после начала и особенно после окончания каждой коммутации. Кроме того, за счет уменьшения амплитуды свободных колебаний снизила величину максимального напряжения на токоприемнике электровоза до 20%.

Однако принцип разнофазного управления не позволяет полностью исключить высокочастотные колебания напряжения. Это связано с тем, что при сложении пульсаций напряжения на токоприемнике электровоза первая полуволна пульсаций одного из преобразователей оказывается нескомпенсированной пульсациями другого преобразователя. В дальнейшем, с учетом затухающего характера колебаний происходит компенсация полуволн напряжения, имеющих различную амплитуду, не приводящая к их полной компенсации. В этой связи в кривой напряжения на токоприемнике электровоза остаются высокочастотные пульсации напряжения, ухудшающие его форму.

В ДВГУПСе разработано устройство, позволяющее значительно уменьшить послекоммутационные колебания напряжения на токоприемнике электровоза и приблизить его форму к синусоидальной [3]. Структурная схема такого устройства, включенного в схему электровоза, представлена на рисунке 1.

Принцип действия устройства основан на генерации во вторичную обмотку трансформатора электровоза такого тока, который, переходя на первичную обмотку, приводил бы форму напряжения на токоприемнике к желаемой синусоидальной форме.

Устройство работает следующим образом. Сигнал с датчика напряжения (ДН), пропорциональный напряжению сети u_c , поступает на фильтр (Ф) и на первый элемент сравнения (ЭС1). Фильтр вычисляет из сигнала

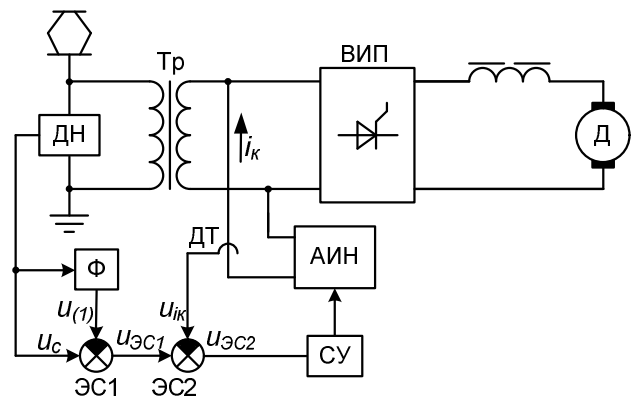


Рисунок 1 – Структурная схема предлагаемого устройства, подключенного к электровозу

ла u_c первую гармоническую составляющую сетевого напряжения $u_{(1)}$ (50 Гц). На выходе первого элемента сравнения формируется разностный сигнал $u_{эс1}$, равный отклонению напряжения в контактной сети от его первой гармонической составляющей. Для улучшения формы напряжения на первичной обмотке трансформатора электровоза необходимо сгенерировать во вторичную обмотку ток, пропорциональный по форме сигналу $u_{эс1}$ (заданный ток). Этот ток генерируется автономным инвертором напряжения (АИН). Датчик тока (ДТ) отслеживает значение тока автономного инвертора напряжения (ток АИН) i_k и формирует сигнал $u_{ик}$ пропорциональный этому току (фактический ток АИН). Второй элемент сравнения (ЭС2) служит для сравнения сигнала $u_{эс1}$ (заданный ток АИН) с сигналом $u_{ик}$ (фактический ток АИН). С выхода второго элемента сравнения (ЭС2) сигнал $u_{эс2}$ поступает на вход системы управления (СУ). СУ предназначена для формирования сигналов открытия и закрытия ключей автономного инвертора напряжения (АИН). Таким образом, во вторичную обмотку трансформатора генерируется необходимая форма тока, улучшающая форму напряжения на токоприемнике.

Для проверки правильности принятых схемных решений было проведено математическое моделирование работы устройства с помощью пакета программ OrCAD 10.5. Была разработана модель системы «тяговая подстанция – контактная сеть – электровоз, оборудованный предлагаемым устройством». В модели была выбрана система тягового снабжения переменного тока 25 кВ. Контактная сеть выполнена из последовательно соединенных четырехполюсников, каждый из которых представлял модель контактной сети длиной 1 км [4]. Моделируемый электровоз работал в режиме тяги, находясь на середине межподстанционной зоны длиной 50 км. В качестве модели электровоза была использована модель электровоза ЭП1. Модель автономного инвертора напряжения выполнена на базе IGBT-транзисторов. Форма напряжения, полученная в результате моделирования представлена на рисунке 2.

Сначала проводилось моделирование работы системы при отключенном устройстве для улучшения формы напряжения (рисунок 2а). Из рисунка видно, что форма напряжения искажена свободными высокочастотными гармоническими колебаниями. Коэффициент искажения синусоидальности кривой этого напряжения составляет 8%, что превышает уровень допустимого значения этого коэффициента.

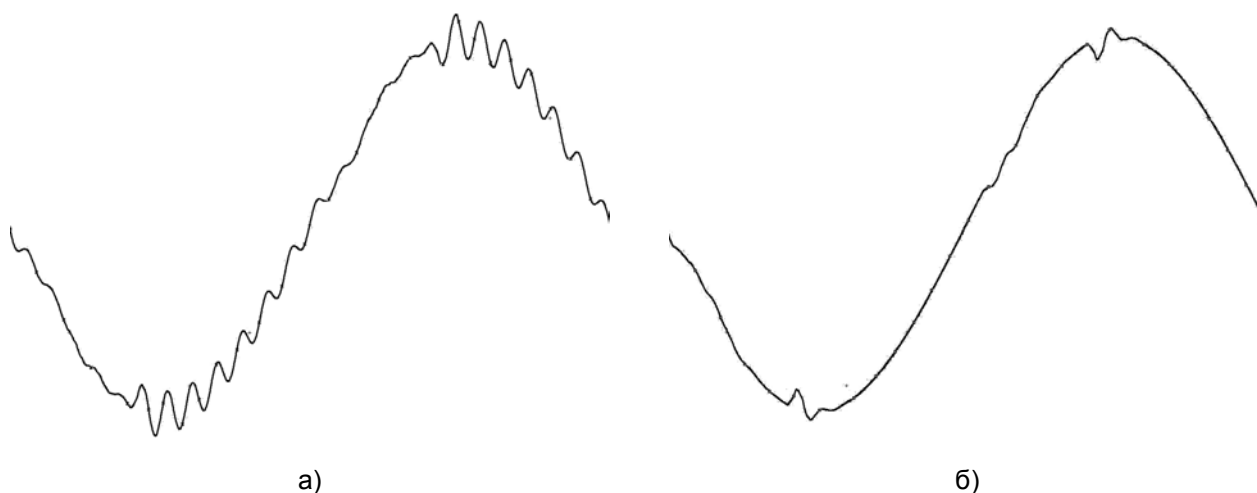


Рисунок 2 – Результаты моделирования работы предлагаемого устройства: а)–напряжение на токоприемнике электровоза при выключенном устройстве; б)напряжение на токоприемнике электровоза при включенном устройстве

Далее было проведено моделирование работы системы при включенном предлагаемом устройстве (рисунок 2б). Из рисунка 2а следует, что при включении предлагаемого устройства, в форме сетевого напряжения практически полностью исключаются послекоммутационные колебания напряжения и остаются лишь искажения напряжения во время сетевой и фазной коммутации. Коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения при этом составил 3,4%, что удовлетворяет нормам ГОСТ.

Результаты моделирования свидетельствуют об эффективности предлагаемого устрой-

ства. Его применение на электровозах позволит приблизить форму напряжения на токоприемнике к синусоиде. В результате значение коэффициента искажения формы кривой напряжения не будет выходить за рамки стандарта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кучумов, В.А. Электромагнитные процессы в тяговой сети с распределенной емкостью при коммутации тока в преобразователе электроподвижного состава / В.А. Кучумов, Н.Н. Широченко // Вестн. ВНИИЖТ. -М, 1984. -№1. -С. 19-23.

2 Испытания электровоза ВЛ85 с разнофазным управлением выпрямительно-инверторными преобразователями / Ю.М. Кулинич, В.В. Находкин, В.А. Кучумов, Г.А. Штибен // Вестн. ВНИИЖТ. -1986. -№4. -С. 23-26.

3 Пат. 2310962 Российская Федерация, МПК H02J H02M1/00. Устройство для преобразования формы напряжения потребителя / Кулинич Ю.М.; заявитель и патентообладатель Дальневост. гос. ун-т путей сообщения. -№2006115004/09; -Заявл. 02.05.2006; -Опубл. 20.11.2007, Бюл. №32.

4 Савоськин, А.Н. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе контактная сеть-электровоз / А.Н. Савоськин, Ю.М. Кулинич, А.С. Алексеев // Электричество. -2002. -№2. -С. 29-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, качество электроэнергии, контактная сеть, моделирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кулинич Юрий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Дальневосточный ГУПС»

Кабалык Юрий Сергеевич, аспирант ГОУ ВПО «Дальневосточный ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680021, г. Хабаровск, ул. Серышева, 47, ГОУ ВПО «Дальневосточный ГУПС»

ВЫВОД ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕСТРОЙКИ КОМПЕНСАТОРА ЖЁСТКОСТИ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.Ю. Гросс, Е.Г. Гурова, П.Г. Старостин

CONCLUSION OF THE LAW OF REGULATION OF A VOLTAGE OF LINEAR SYSTEM REORGANIZATIONS OF THE COMPENSATOR OF RIGIDITY

«Novosibirsk state academy of water transport»

V.Ju. Gross, E.G. Gurova, P.G. Starostin

The mathematical expressions describing the law of change of a voltage on coils of the electromagnetic rigidity compensator at changing forces of interaction between vibrating and protected objects are deduced.

Выведены математические выражения, описывающие закон изменения напряжения на катушках электромагнитного корректора жёсткости при изменяющихся силах взаимодействия между вибрирующим и защищаемым объектами.

В [1] говорилось, что в виброизоляторах с электромагнитными компенсаторами жёсткости при изменении силы взаимодействия между вибрирующим и защищаемым объектами необходимо перераспределение напряжений на катушках электромагнитов корректора, что обеспечивает «плавание» участка нулевой жёсткости при изменяющейся нагрузке, действующей на виброизолятор. В соответствии с этим в [1] получен закон изменения напряжений на первом и втором электромагнитах при изменении нагрузки. Полученный закон изменения напряжений нелинейный и его довольно сложно практически реализовать. Так как линейный закон регулирования реализовать значительно проще, а свойства линейных систем управления более предсказуемы, попытаемся получить линейный закон изменения напряжений на электромагнитах компенсатора жёсткости.

Предположим, что напряжения на обоих электромагнитах должны изменяться одинаково, при этом на одном оно электромагните должно увеличиваться, а на другом уменьшаться. Тогда для силы тяги обоих электромагнитов можно записать:

$$F + \Delta F = \frac{k(U + \Delta U)^2}{(x + \Delta x)^2} - \frac{k(U - \Delta U)^2}{[b - (x + \Delta x)]^2}, \quad (1)$$

где F – изменение силы тяги электромагнитного компенсатора жёсткости;

U – напряжение питания катушек электромагнитов компенсатора;

ΔU – изменение напряжения питания катушек.

Суммарное тяговое усилие электромагнитов при изменении напряжения в районе точки неустойчивого равновесия равно нулю, то есть

$$\frac{k(U + \Delta U)^2}{(x + \Delta x)^2} - \frac{k(U - \Delta U)^2}{[b - (x + \Delta x)]^2} = 0. \quad (2)$$

Перепишем уравнение (2)

$$k(U + \Delta U)^2 [b - (x + \Delta x)]^2 - k(U - \Delta U)^2 (x + \Delta x)^2 = 0. \quad (3)$$

Решив (3), получим два выражения, связывающих изменение напряжения на катушках электромагнитов от изменения перемещения вибрирующего объекта относительно защищаемого:

$$\Delta U = \frac{Ub}{2x + 2\Delta x - b}; \quad (4)$$

$$\Delta U = \frac{U(2x + 2\Delta x - b)}{b}. \quad (5)$$

Анализ (4) и (5) показывает, что линейный закон изменения напряжения на катушках электромагнитов обеспечивается в случае, если напряжение при изменении относительного положения вибрирующего и защищаемого объектов изменяется по (5). График зависимости (5) представлен на рисунке 1а.

Рассмотрим случай линейного закона изменения напряжения на электромагнитах. Предположим, что известен закон, по которому должно изменяться напряжение на одном из электромагнитов, а закон изменения напряжения на втором электромагните необходимо найти.

Допустим, что известен закон изменения напряжения ΔU_1 , а закон изменения ΔU_2 нужно найти. Уравнение (2) в этом случае запишется как

$$\frac{k(U + \Delta U_1)^2}{(x + \Delta x)^2} - \frac{k(U - \Delta U_2)^2}{[b - (x + \Delta x)]^2} = 0. \quad (6)$$

Выполнив некоторые преобразования, запишем уравнение (6) в виде:

$$k(U + \Delta U_1)^2 [b - (x + \Delta x)]^2 - k(U - \Delta U_2)^2 (x + \Delta x)^2 = 0. \quad (7)$$

Решив это уравнение, получим

$$\begin{cases} \Delta U_{2(1)} = \frac{(x + \Delta x)U - [b - (x + \Delta x)](U + \Delta U_1)}{x + \Delta x}; \\ \Delta U_{2(2)} = \frac{(x + \Delta x)U + [b - (x + \Delta x)](U + \Delta U_1)}{x + \Delta x}. \end{cases} \quad (8)$$

Уравнения системы (8) получены в предположении, что напряжение на одном электромагните при перестройке компенсатора жёсткости увеличивается. Из второго уравнения системы (8) видно, что напряжение на втором электромагните тоже увеличивается, поэтому решение $\Delta U_{2(2)}$ не принимаем

во внимание. По первому уравнению системы (8) можно заметить, что напряжение на втором электромагните уменьшается. Следовательно, уравнение $\Delta U_{2(1)}(\Delta x)$ является законом изменения напряжения на втором электромагните. График зависимости изменения напряжения от изменения перемещения вибрирующего объекта относительно защищаемого представлен на рисунке 1б.

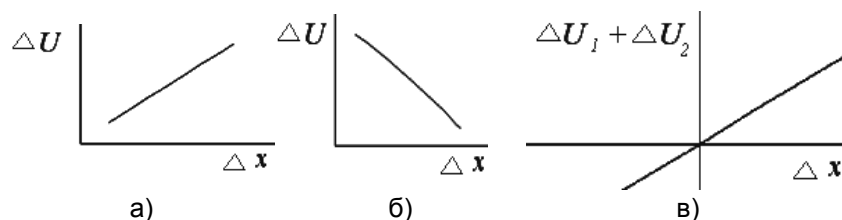


Рисунок 1 – График зависимости изменения напряжения :
 а)-от изменения перемещения вибрирующего объекта относительно защищаемого на одном из электромагнитов;
 б)-на втором электромагните при известном законе изменения напряжения на первом электромагните; в)-на катушках электромагнитов (суммарного)

Из рисунков 1а и 1б видно, что напряжение на одном электромагните должно увеличиваться, а другом – уменьшаться.

Просуммировав два графика зависимости, изображенных на рисунках 1а и 1б, получим график изменения суммарного напряжения на катушках электромагнитов (рисунок 1в).

Из рисунка 1в видно, что зависимость можно описать уравнением:

$$\Delta U = k \cdot \Delta x, \quad (9)$$

где k – коэффициент пропорциональности.

При изменении напряжений на катушках по законам (5), (8) обеспечивается перемещение силовой характеристики компенсатора параллельно самой себе. Это свойство электромагнитного компенсатора жёсткости может быть использовано для обеспечения «плавания» участка нулевой жёсткости виброизолятора при изменении взаимного положения вибрирующего и защищаемого объектов под действием изменяющихся внешних усилий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 А.с. 1216486 СССР. Корректор жесткости / Зуев А.К., Гросс В.Ю. (СССР). - №3775501/25-28; -Заявл. 16.07.85; -Опубл. 07.03.86, Бюл. №9. -3 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электромагнитный компенсатор жесткости, виброизолятор*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Гросс Владимир Юлиусович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Старостин Петр Григорьевич, студент ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОГРАММЫ ОБТОЧЕК КОЛЕСНЫХ ПАР

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, А.П. Шилияков, А.С. Талызин

APPLICATION OF A TECHNIQUE OF FORECASTING OF DETERIORATION OF BANDAGES OF WHEEL PAIRS ELECTRIC LOCOMOTIVES FOR UPDATING OF THE PROGRAM OF TURNINGS OF WHEEL PAIRS

«Omsk state transport university»

S.K. Ismailov, A.P. Shiliakov, A.S. Talyzin

About a problem of definition of sizes of deterioration of bandages of locomotives at transition to system of repairs of locomotives on their condition. Definition of capacity of forces of a friction in a zone of contact "wheel-rail". Application of concept of time of extreme work of the locomotive to forecasting of deterioration of bandages of their wheel pairs. About possibility of statement of the locomotive on turning by results of the forecast without actual gaugings.

О проблеме определения величин износов бандажей локомотивов при переходе на систему ремонтов локомотивов по их состоянию. Определение мощности сил трения в зоне контакта «колесо-рельс». Применение понятия времени экстремальной работы локомотива к прогнозированию износа бандажей их колесных пар. О возможности постановки локомотива на обточку по результатам прогноза без фактических замеров.

Стратегия развития железнодорожного транспорта России ставит своей целью обеспечить потребности экономики страны в перевозках с одновременным доведением их качества до мирового уровня. Локомотивное хозяйство ОАО «РЖД» призвано решить поставленные задачи эффективным использованием парка локомотивов и качественным выполнением технических обслуживаний и текущих ремонтов при безусловном соблюдении требований обеспечения безопасности движения.

От состояния и величины износов бандажей колесных пар электровозов во многом зависит безопасность движения поездов. В настоящее время оценка состояния бандажей колесных пар электровозов производится на основании замеров геометрических параметров бандажей в депо при постановке локомотива на плановые виды ремонта. По достижении износов бандажа критических величин электровоз ставится на позицию обточки бандажей. При отказе от планово-предупредительной системы ремонта и переходе на систему ремонтов по состоянию локомотива возникнет проблема определения величин износов и принятия решения на обточку бандажей.

Возможным решением данной проблемы может стать прогнозирование износа бандажей колесных пар электровозов на основе определения зависимостей между износом по-

верхности бандажей и временем экстремальной работы локомотива.

Износ бандажей колесных пар электровозов определяется мощностью сил трения в зоне контакта «колесо-рельс» [1]. При этом энергетическую сторону процессов в зоне контакта колеса с рельсом, при условии равенства силы тяги на ободу колеса F_k и силы сцепления $F_{цц}$, можно оценить при помощи коэффициента полезного действия, который для режима тяги выразится в следующем виде

$$\eta_{цц} = \frac{P_k}{P} = \frac{F_{цц} V_0}{F_{цц} V} = \frac{V_0}{V} = \frac{V_0}{V_0 + V_{ск}} = \frac{1}{1 + \frac{V_{ск}}{V_0}},$$

где P_k – механическая мощность, реализованная на тягу поезда (полезная),

$$P_k = P - \Delta P_{цц};$$

P – механическая мощность, подведенная к колесу (полная);

$\Delta P_{цц} = F_{цц} V_{ск}$ – потери мощности в зоне контакта колеса с рельсом,

$$\Delta P_{цц} = F_{цц} V_{ск};$$

V_0, V – соответственно, скорость поступательного движения колеса и полная скорость колеса.

Мощность сил трения, определяемая продольным скольжением колеса по поверхности рельса, без которого невозможна реализация тягового усилия

$$P_1 = F_{цц}(V_{ск.х.})V_{ск.х.},$$

где $F_{цц}(V_{ск.х.})$ – сила сцепления колеса с рельсом, являющаяся сложной функцией скорости скольжения в продольном направлении $V_{ск.х.}$.

Увеличение тягового усилия сопровождается возрастающей скоростью скольжения, причем существует некоторое значение последней, при котором «рабочее» проскальзывание перерастает в избыточное скольжение (боксование) колесной пары локомотива.

При установившемся движении локомотива с постоянной скоростью

$$F_{цц}(V_{ск.х.}) = F(V),$$

где $F(V)$ – сила тяги локомотива.

Исходя из этого условия

$$P_1 = F(V)V_{ск.х.}.$$

Увеличенный износ бандажей имеет место при максимальных и близких к ним тяговых усилиях, сопровождаемых предельным и субпредельным рабочим проскальзыванием колесных пар электровоза, что определяется массой поезда и продольным профилем участка. Наибольшая мощность сил трения имеет место при реализации электровозом силы тяги, равной 75-100% от силы сцепления.

Значительное влияние на износ гребня бандажа также имеет наличие кривых (в том числе малого радиуса) на участке обращения локомотивов.

В криволинейных участках пути, наряду с поступательным движением, имеет место вращательное движение экипажа вокруг центра поворота, происходящее при скольжении колес по рельсам в поперечном направлении, что обусловлено конструктивными особенностями экипажа.

Колесная пара, набегающая на рельс под углом φ , скользит в поперечном направлении со скоростью

$$V_{ск.у.} = V \sin \varphi.$$

Мощность сил трения, определяемая поперечным скольжением бандажа по поверхности рельса

$$P_2 = F_{цц.у.}(V_{ск.у.})V_{ск.у.},$$

где $F_{цц.у.}(V_{ск.у.})$ – сила сцепления колеса с рельсом в поперечном направлении.

Единая природа сил трения в продольном и поперечном направлениях выражается в том, что характеристика сцепления считается одинаковой, как в продольном, так и в поперечном направлениях

$$F_{цц}(V_{ск.х.}) = F_{цц.у.}(V_{ск.у.}).$$

Мощность сил трения, обусловленных взаимодействием гребня бандажа с боковой поверхностью головки рельса

$$P_3 = F_y V_{ск},$$

где $V_{ск}$ – скорость полного скольжения колеса (в продольном и поперечном направлении);

F_y – сила бокового давления гребня колеса на боковую поверхность головки рельса, зависящая от величины радиуса кривой.

Таким образом, полная мощность сил трения, затрачиваемая локомотивными колесами в зонах их контактов с рельсами в кривых участках пути в режиме тяги

$$P = P_1 + P_2 + P_3.$$

При выполнении тягового расчета по установленной Правилами тяговых расчетов методике наряду с расчетом полной мощности сил трения также дополнительно определяется время (по кривой времени), при котором электровоз реализовал силу тяги, равную 75-100% от силы сцепления.

Отношение длительности работы локомотива с максимальными и близкими к ним тяговыми усилиями, называемое также временем экстремального использования по сцеплению [2], определенное для конкретного участка, к общему времени движения локомотива с поездом по участку (коэффициент экстремальной работы), показывает, какую долю общего времени своей работы локомотив реализовал с максимальной силой тяги, сопровождаемой увеличенным износом бандажей.

Время работы локомотива является одним из показателей работы тягового подвижного состава наряду с пробегом, производительностью, удельным расходом электроэнергии. Доказано [3], что для прогнозирования износа бандажей возможно использование любого и только одного из четырех рассмотренных эксплуатационных показателей.

Для определения связи между износом поверхностей бандажа и временем экстремальной работы необходимо провести тяговые расчеты на всех участках обращения электровоза с поездами различной массы с учетом необходимых дополнений, которые позволят рассчитать время экстремальной работы локомотива на каждом участке обращения электровоза. Система учета работы локомотивов, существующая в настоящее время в локомотивных депо ОАО «РЖД», позволяет определить количество поездок каждого электровоза для всех его участков обращения с поездами различной массы за определенное время. По данным замеров бандажей колесных пар электровозов, взятым в локомотивных ремонтных депо, можно определить интенсивность нарастания износов и связать эти величины с результатами тяговых расчетов, применив соответствующий математический аппарат.

Известно, что с наименьшей интенсивностью изнашиваются бандажи локомотивов, обращающихся на участках равнинного профиля пути. Для электровозов, работающих на участках более сложного профиля, интенсивность износа бандажей возрастает.

Располагая полученной зависимостью между износом поверхностей бандажа и временем экстремальной работы локомотива, можно с достаточной степенью вероятности прогнозировать интенсивность нарастания износа до его критических величин без фактических замеров в депо и рассчитать время обязательной постановки локомотива на обточку по предельно допустимому износу бандажей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лисунов, В.Н. Использование сил взаимодействия движущего колеса с рельсом в режимах тяги и электрического торможения: монография / В.Н. Лисунов / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2003. -160 с.

2 Лисунов, В.Н. Оптимальное использование силы тяги локомотивов по сцеплению / В.Н. Лисунов // Ж.-д. трансп. -1982. -№9. -С. 62-63.

3 Исаев, И.П. Факторный анализ процессов изнашивания бандажей колесных пар электровозов / И.П. Исаев, А.В. Горский, А.А. Воробьев // Вестн. ВНИИЖТа. -1980. -№4. -С. 22-26.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *износ бандажей колесных пар электровозов, мощность сил трения в зоне контакта колеса и рельса, время экстремальной работы локомотива, тяговые расчеты, зависимость времени работы и износа бандажей, прогнозирование износа бандажей*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Шилияков Андрей Петрович, канд. техн. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Талызин Александр Сергеевич, старший преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
«Тайгинский институт железнодорожного транспорта», филиал
ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов

DEFINITION OF INFLUENCE OF QUALITY OF PROCESSING OF A WORKING SURFACE OF A COLLECTOR ON QUALITY OF SWITCHING OF A TRACTION ELECTRIC MOTOR BY MEANS OF THE ONE-FACTORIAL DISPERSIVE ANALYSIS

«Omsk state transport university»

«Tajginsky institute of a railway transportation», branch «Omsk state transport university»

S.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik, E.I. Selivanov

Researches with application of the one-factorial dispersive analysis of influence of quality of processing of a working surface of a collector on quality of switching of a traction electric motor are conducted. The mathematical description of studied process on the basis of check on selective averages of a zero hypothesis about equality of all population means is received. The analysis of supervision is made and parametres by criterion Fishers factorial and residual dispersions of observable sizes are calculated. Practical conclusions are formulated.

Проведены исследования с применением однофакторного дисперсионного анализа влияния качества обработки рабочей поверхности коллектора на качество коммутации тяговых электродвигателей (ТЭД). Получено математическое описание изучаемого процесса на основе проверки по выборочным средним нулевой гипотезы о равенстве всех математических ожиданий. Сделан анализ наблюдений и рассчитаны параметры по критерию Фишера факторной и остаточной дисперсий наблюдаемых величин. Сформулированы практические выводы.

В локомотивном ремонтном депо Московка Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД» был произведен эксперимент по изучению влияния качества обработки рабочей поверхности коллекторов на качество коммутации. Экспериментально были получены результаты, показывающие, что обточка коллектора тягового электродвигателя ТЛ-2К1 на токарном станке и последующее упрочнение его рабочей поверхности методом поверхностной пластической деформации улучшает качество коммутации. Количественно обоснуем вышеприведенное утверждение. Для этого воспользуемся статистическим методом однофакторного дисперсионного анализа.

Основная идея дисперсионного анализа состоит в сравнении «факторной дисперсии», порождаемой воздействием фактора, и «остаточной дисперсии», обусловленной случайными причинами. Если различие между этими дисперсиями значимо, то фактор оказывает существенное влияние на X ; в этом случае средние наблюдаемых значений на каждом уровне различаются также значимо.

Во многих случаях целью исследования является получение математического описания изучаемого процесса. Пусть генеральные совокупности X_1, X_2, \dots, X_p распределены нормально и имеют одинаковую, хотя и неизвестную дисперсию; математические ожидания также неизвестны, но могут быть различными. Требуется при заданном уровне значимости по выборочным средним проверить нулевую гипотезу $H_0: M(X_1) = M(X_2) = \dots = M(X_p)$ о равенстве всех математических ожиданий. Другими словами, требуется установить, значимо или незначимо различаются выборочные средние, так как с возрастанием числа средних возрастает и наибольшее различие между ними. По этой причине для сравнения нескольких средних воспользуемся методом сравнения дисперсий, то есть дисперсионным анализом (в основном развитым английским статистиком Р. Фишером).

В наших исследованиях ограничимся простейшим случаем однофакторного анализа, когда на X воздействует только один фактор, который имеет p постоянных уровней.

Пусть на количественный нормально распределенный признак X воздействует фактор F , который имеет p постоянных уровней. Предположим, что число наблюдений (испытаний) на каждом уровне одинаково и равно q .

Пусть наблюдалось $n = pq$ значений x_{ij} признака X , где i -номер испытания ($i = 1, 2, \dots, q$), j -номер уровня фактора ($j = 1, 2, \dots, p$) результаты наблюдений приведены в таблице 1.

Введем по определению:
 – общая сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений от общей средней \bar{x}

$$S_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^q (x_{ij} - \bar{x})^2; \quad (1)$$

– факторная сумма квадратов отклонений групповых средних от общей средней, которая характеризует рассеяние «между группами»

$$S_{\text{факт}} = q \sum_{j=1}^p (\bar{x}_{грj} - \bar{x})^2; \quad (2)$$

– остаточная сумма квадратов отклонений наблюдаемых значений группы от своей групповой средней, которая характеризует рассеяние «внутри групп»

$$S_{\text{ост}} = \sum_{i=1}^q (x_{i1} - \bar{x}_{гр1})^2 + \sum_{i=1}^q (x_{i2} - \bar{x}_{гр2})^2 + \dots + \sum_{i=1}^q (x_{ip} - \bar{x}_{грp})^2. \quad (3)$$

Практически остаточную сумму находят по равенству

$$S_{\text{ост}} = S_{\text{общ}} - S_{\text{факт}}. \quad (4)$$

Для более удобных расчетов используем формулы

$$S_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^p P_j - \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^p R_j \right)^2}{pq} \right]; \quad (5)$$

$$S_{\text{факт}} = \left[\frac{\sum_{j=1}^p R_j^2}{q} \right] - \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^p R_j \right)^2}{pq} \right], \quad (6)$$

где P_j – сумма квадратов значений признака на уровне F_j ,

$$P_j = \sum_{i=1}^q x_{ij}^2;$$

R_j – сумма значений признака на уровне F_j ,

$$R_j = \sum_{i=1}^q x_{ij}.$$

Для упрощения вычислений вычитаем из каждого наблюдаемого значения одно и то же число C , примерно равное общей средней. Если уменьшенные значения

$$y_{ij} = x_{ij} - C,$$

то

$$S_{\text{общ}} = \sum_{j=1}^p Q_j - \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^p T_j \right)^2}{pq} \right]; \quad (7)$$

$$S_{\text{факт}} = \left[\frac{\sum_{j=1}^p T_j^2}{q} \right] - \left[\frac{\left(\sum_{j=1}^p T_j \right)^2}{pq} \right], \quad (8)$$

где Q_j – сумма квадратов уменьшенных значений признака на уровне F_j ,

$$Q_j = \sum_{i=1}^q y_{ij}^2;$$

T_j – сумма уменьшенных значений признака на уровне F_j ,

$$T_j = \sum_{i=1}^q y_{ij}.$$

Покажем, что

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{факт}} + S_{\text{ост}}.$$

Для упрощения вывода ограничимся двумя уровнями ($p = 2$) и двумя испытаниями на

Таблица 1 – Результаты наблюдений (испытаний) при различных уровнях фактора

Номер испытания	Уровни фактора F_j			
	F_1	F_2	...	F_p
1	x_{11}	x_{12}	...	x_{1p}
2	x_{21}	x_{22}	...	x_{2p}
...
q	x_{q1}	x_{q2}		x_{qp}
Групповая средняя	x_{gp}	x_{gp2}	...	x_{gpp}

каждом уровне ($q = 2$). Результаты испытаний представим в виде таблицы 2.

Тогда

$$S_{\text{общ}} = (x_{11} - \bar{x})^2 + (x_{21} - \bar{x})^2 + (x_{12} - \bar{x})^2 + (x_{22} - \bar{x})^2 .$$

Вычтем и прибавим к каждому наблюдаемому значению на первом уровне групповую среднюю x_{ep1} , а на втором – x_{ep2} . Выполним возведение в квадрат и учитывая, что сумма всех удвоенных произведений равна нулю, получим

$$S_{\text{общ}} = 2 \left[(\bar{x}_{гр1} - \bar{x})^2 + (\bar{x}_{гр2} - \bar{x})^2 \right] + \left[(x_{11} - \bar{x}_{гр1})^2 + (x_{21} - \bar{x}_{гр1})^2 + (x_{12} - \bar{x}_{гр2})^2 + (x_{22} - \bar{x}_{гр2})^2 \right] = S_{\text{факт}} + S_{\text{ост}} .(10)$$

Итак,

$$S_{\text{общ}} = S_{\text{факт}} + S_{\text{ост}} .$$

Из полученного равенства следует

$$S_{\text{ост}} = S_{\text{общ}} - S_{\text{факт}} .$$

Отсюда видно, что нет необходимости непосредственно вычислять остаточную сумму: достаточно найти общую и факторную суммы, а затем их разность.

Найдем факторную и остаточную дисперсии, разделив суммы квадратов отклонений на соответствующее число степеней свободы, получим общую, факторную и остаточную дисперсии где:

p – число уровней фактора;

q – число наблюдений на каждом уровне;

$(pq - 1)$ – число степеней свободы общей дисперсии;

$(p - 1)$ – число степеней свободы факторной дисперсии;

$p(q - 1)$ – число степеней свободы остаточной дисперсии.

Если нулевая гипотеза о равенстве средних справедлива, то все эти дисперсии являются несмещенными оценками генеральной дисперсии, и фактор не оказывает существенного влияния на изучаемый процесс.

Поставим и решим задачу об оценке влияния обточки и упрочнения рабочей поверхности коллектора ТЭД на качество коммутации.

Покажем, что ее решение сводится к сравнению факторной и остаточной дисперсий по критерию Фишера. Расчетные данные сводим в таблицу 3.

Число степеней свободы равно двум. Число наблюдений $q_{\text{набл}} = 20$.

Таблица 3 – Результаты сравнения по критерию Фишера факторной и остаточной дисперсий, усл. ед.

Номер наблюдений	До обточки коллектора		После обточки коллектора		После накатки коллектора	
	A	A ²	A	A ²	A	A ²
1	3050	9302500	1800	3240000	800	640000
2	3120	9734400	2000	4000000	750	562500
3	2890	8352100	1950	3802500	600	360000
4	2720	7398400	2100	4410000	850	722500
5	2915	8497225	1980	3920400	655	429025
6	3075	9455625	1650	2722500	720	518400
7	3100	9610000	2300	5290000	900	810000
8	2910	8468100	2100	4410000	720	518400
9	3115	9703225	1820	3312400	670	448900
10	3200	10240000	1750	3062500	900	810000
11	2870	8236900	1650	2722500	1100	1210000
12	2910	8468100	2225	4950625	1300	1690000
13	3250	10562500	1920	3686400	710	504100
14	3118	9721924	1850	3422500	600	360000
15	2875	8265625	2115	4473225	920	846400
16	2700	7290000	2050	4202500	810	656100
17	2920	8526400	1890	3572100	775	600625
18	3040	9241600	1625	2640625	1010	1020100
19	2980	8880400	1900	3610000	800	640000
20	2730	7452900	2135	4558225	895	801025

Критическое значение критерия Фишера $F_{кр} = 3,52$. Рассмотрим три фактора, на уровне значимости $\alpha = 0,05$. На каждом из трех уровней факторов было проведено 20 испытаний качества коммутации (см. таблицу 3). В результате обработки этих данных получилось, что раз-

личие групповых средних нормальных совокупностей является значимым и поэтому на основании проведенных вычислений получилось, что нулевую гипотезу о равенстве групповых средних можно отвергнуть на уровне значимости, как 5%, так и 1% с большим запасом. И, как следствие, групповые средние различаются значимо. Результаты расчетов приведены в таблицах 4 и 5.

Таблица 4 – Параметры групповых средних по расчету условий коммутации в зависимости от состояния рабочей поверхности коллектора ТЭД ТЛ-2К1, усл. ед.

Название параметра	До обточки	После обточки	После накатки	Сумма
Сумма средних значений	59488	38810	16485	114783
Сумма квадратов средних значений	177000000	76009000	14148075	267564999
	3538822144	1506216100	271755225	5316793469

Так как наблюдаемое значение критерия Фишера $F_{набл} > F_{кр}$, то нулевая гипотеза о равенстве средних отвергается, то есть технологические операции обточки и упрочнения (накатки) рабочей поверхности коллектора ТЭД приводят к существенному улучшению качества коммутации.

Таблица 5 – Параметры расчета общей суммы квадратов отклонений

Название параметра, обозначение	Численное значение
Общая сумма квадратов отклонений, $S_{общ}$	47979380,85
Факторная сумма квадратов отклонений, $S_{факт}$	46254055,3
Остаточная сумма квадратов отклонений, $S_{ост}$	1725325,55
$S_{факт}^2$	23127027,65
$S_{ост}^2$	30268,87
Наблюдаемое значение критерия Фишера, $F_{набл}$	764,05

Внедрение результатов данной работы в локомотивных ремонтных депо Московка и Тайга Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «РЖД», привело к значительному улучшению надежности и, как следствие, увеличению ресурса ТЭД.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяговый электродвигатель, рабочая поверхность коллектора, качество коммутации, одноклассовый дисперсионный анализ, нулевая гипотеза, степень свободы, критерий Фишера

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Селиванов Евгений Иванович, директор «Тайгинского ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
652401, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, «Тайгинский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРТ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ10

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»
«Тайгинский институт железнодорожного транспорта», филиал
ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, А.С. Талызин

APPLICATION OF A PERT METHOD FOR MATHEMATICAL MODELLING OF REPAIR OF TRACTION ELECTRIC MOTORS AND WHEEL PAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES VL10

«Omsk state transport university»
«Tajginsky institute of a railway transportation», branch «Omsk state transport university»
S.K. Ismailov, O.V. Gateljuk, V.V. Bublik, E.I. Selivanov, A.S. Talyzin

Researches of duration of technological process of repair of traction electric motors and wheel pairs of electric locomotive VL10 with a PERT method causing are conducted. The mathematical description of operations of investigated technological process of repair is received. The analysis of supervision is made and parametres of the network schedule by a rule of three sugmes and conditions of the central limiting theorem are calculated. Practical conclusions are formulated.

Проведены исследования продолжительности технологического процесса ремонта тяговых электродвигателей и колесных пар электровоза ВЛ10 с использованием метода ПЕРТ. Получено математическое описание операций исследуемого технологического процесса ремонта. Сделан анализ наблюдений и рассчитаны параметры сетевого графика по правилу трех сигм и условия центральной предельной теоремы. Сформулированы практические выводы.

Опыт использования сетевых графиков в проведении видов ремонта и восстановления узлов самого различного рода показывает, что вычисления по основной сети и критическому пути создают возможность осуществления лучшей классификации и детального планирования выполнения в срок всех видов работ.

По составленному перечню работ, приведенному в таблице 1, определяются операции, составляющие технологический процесс ремонта, и необходимое время их выполнения с учетом выделенных ресурсов. Четко показываются взаимозависимости между операциями.

Среднее распределение времени операции в работе определяется по формуле

$$t_{\text{ср опер}} = \frac{t_{\text{онм}} + 4 \cdot t_{\text{нв}} + t_{\text{песс}}}{6}, \quad (1)$$

где $t_{\text{онм}}$ – минимальное время выполнения операции;
 $t_{\text{нв}}$ – наивероятное время выполнения операции;
 $t_{\text{песс}}$ – максимальное время выполнения операции.

Затем рассчитывается дисперсия операции

$$\sigma_{\text{раб}}^2 = \left(\frac{t_{\text{песс}} - t_{\text{онм}}}{6} \right)^2, \quad (2)$$

и среднее распределение времени работы

$$t_{\text{ср опер}} = \sum_{i=1}^k t_{\text{ср раб } i}, \quad (3)$$

где k – количество операций в работе.

Дисперсия произведенной работы

$$\sigma_{\text{опер}}^2 = \sum_{i=1}^k \sigma_{\text{раб } i}^2. \quad (4)$$

Среднее распределение времени технологического процесса

$$t_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^m t_{\text{ср опер } i}, \quad (5)$$

где m – количество работ в технологическом процессе.

Дисперсия технологического процесса рассчитывается по формуле

$$\sigma^2 = \sum_{i=1}^m \sigma_{\text{опер } i}^2. \quad (6)$$

Тогда среднеквадратическое отклонение

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2}. \quad (7)$$

Для корректировки магнитной системы получено

$$t_{\text{ср}} = 26,86; \quad \sigma^2 = 0,172; \quad \sigma = 0,415.$$

Согласно правилу трех сигм почти наверняка корректировка магнитной системы будет продолжаться в интервале

$$t_{\text{ср}} - 3\sigma \leq t_{\text{корр}} \leq t_{\text{ср}} + 3\sigma; \quad (8)$$

$$25,6 \leq t_{\text{корр}} \leq 28,1.$$

В силу центральной предельной теоремы вероятность закончить корректировку к времени T вычисляется по формуле

$$P(t_{\text{корр}} < T) = 0,5 + \Phi\left(\frac{T - t_{\text{ср}}}{\sigma}\right), \quad (9)$$

где $\Phi(x)$ – функция Лапласа.

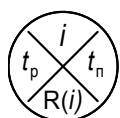
$$\Phi(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_0^x \exp\left(-\frac{t^2}{2}\right) dt. \quad (10)$$

Найдем вероятность того, что корректировка магнитной системы закончится к сроку $T = 27$

$$P(t_{\text{корр}} < 27) = 0,5 + \Phi\left(\frac{27 - 26,86}{0,415}\right) = 0,634.$$

В качестве иллюстрации применения метода ПЕРТ к ремонту магнитной системы колесно-моторного блока электровоза приводим сетевой график ее ремонта (рисунок 1).

В графе каждая вершина разделена на четыре сектора, а именно:



- i – номер операции;
- $R(i)$ – резерв времени i -ой операции;
- t_p – ранний срок окончания работы;
- t_n – поздний срок окончания работы.

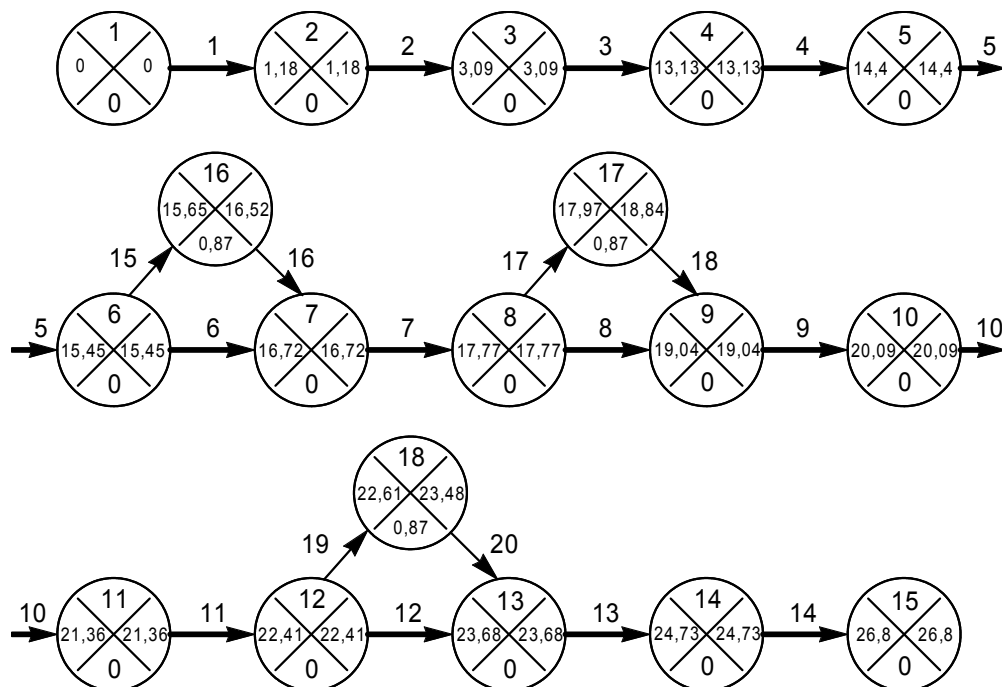


Рисунок 1 – Сетевой график (граф) ремонта магнитной системы ТЭД ТЛ2К1

Методика построения сетевого графика приведена в таблице.

Таблица – Параметры сетевого графика по ремонту магнитной системы ТЭД ТЛ-2К1

Номер ребра	Номера вершин	Наименование работы
1	1 и 2	Демонтаж дополнительного полюса №1
2	2 и 3	Механическая обработка внутренних поверхностей остова под ДП №1 и отверстий под болты ДП №1
3	3 и 4	Ремонт, корректировка размеров деталей сердечника ДП
4	4 и 5	Монтаж дополнительного полюса №1
5	5 и 6	Демонтаж дополнительного полюса №3
6	6 и 7	Монтаж дополнительного полюса №3
7	7 и 8	Демонтаж дополнительного полюса №5
8	8 и 9	Монтаж дополнительного полюса №5
9	9 и 10	Демонтаж дополнительного полюса №7
10	10 и 11	Монтаж дополнительного полюса №7
11	11 и 12	Демонтаж дополнительного полюса №9
12	12 и 13	Монтаж дополнительного полюса №9
13	13 и 14	Демонтаж дополнительного полюса №11
14	14 и 15	Монтаж дополнительного полюса №11
15	6 и 16	Доставка на склад
16	16 и 7	Доставка со склада
17	8 и 17	Доставка на склад
18	17 и 9	Доставка со склада
19	12 и 18	Доставка на склад
20	18 и 13	Доставка со склада

На основании полученного графа и вышеизложенных таблиц по расчету временных величин (затрат времени на проведение ремонта по той или иной позиции технологического процесса) отметим, что вероятность того, что ремонт магнитной системы КМБ завершится к определенному сроку T можно вычислить по формуле (9).

Причем на основании проведенного хронометража, проведенного по методу ПЕРТ можно найти математическое ожидание и дисперсию времени ремонта по выражениям (5) и (6), а также вероятность закончить ремонт магнитной системы КМБ к расчетному времени.

Возможно также применением метода ПЕРТ для математического моделирования ремонта (обточки бандажей) колесных пар.

Основанием для ремонта (обточки) бандажа колесной пары локомотива является достижение предельно допустимых износов поверхностей катания и гребня. Эти значения определяются в настоящее время путем периодических замеров бандажей в локомотивных депо при плановых видах ремонта.

Для прогнозирования износа бандажей без их постоянного контроля (замеров) необходимо постоянно учитывать время работы локомотива с предельными и субпредельными тяговыми усилиями, сопровождаемыми увеличенным износом бандажей колесных пар с поездами различной массы на фактических участках обращения локомотивов.

По результатам проведения тягового расчета и режимной карты ведения поезда определяются операции, составляющие технологический процесс ведения поезда и необходимое время их выполнения для каждого перегона участка обращения локомотива, в том числе и время работы локомотива с предельными и близкими к ним тяговыми усилиями и составляется сетевой график (граф), анализ которого по изложенной выше методике позволит найти математическое ожидание и дисперсию искомых величин.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяговый электродвигатель, колесная пара, бандаж, гребень, износ, центральная предельная теорема, метод ПЕРТ, сектор, сетевой график (граф), дополнительный полюс, хронометраж*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Бублик Владимир Васильевич, преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Селиванов Евгений Иванович, директор «Тайгинского ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
Талызин Александр Сергеевич, старший преподаватель ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
652401, г. Тайга, ул. Молодежная, 13, «Тайгинский ИЖТ», филиал ГОУ ВПО «Омский ГУПС»*

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПЛАВКРАНА СПГ-43/82

«Обь-Иртышская инспекция», филиал ФГУ «Российский речной регистр»

ОАО «Иртышское пароходство»

«Омский институт водного транспорта», филиал ФГОУ ВПО

«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**М.Г. Вишнягов, А.М. Журовский, В.И. Клеутин, А.А. Руппель,
В.Г. Сальников, А.А. Сидоренко**

RESULTS OF EXPERIMENTAL RESEARCHES OF INDICATORS OF QUALITY OF THE ELECTRIC POWER IN THE POWER SUPPLY SYSTEM OF FLOATING CRANE SPG-43/82

«Ob-Irtysh inspection», branch «Russian river register»

«Irtysh shipping company»

«Omsk Institute of Water Transport», branch «Novosibirsk state academe of water transport»

«Novosibirsk state academe of water transport»

M.G. Vishnjagov, A.M. Zhurovskij, V.I. Kleutin, A.A. Ruppel', V.G. Sal'nikov, A.A. Sidorenko

Experimental check of indicators of quality of the electric power on conformity to requirements of rules for courts of internal float of the Russian river register is executed.

Выполнена экспериментальная проверка показателей качества электроэнергии на соответствие требованиям правил для судов внутреннего плавания Российского речного регистра.

Описание установки. Особенностью судовой электроэнергетической системы (СЭЭС) плавкрана СПГ-48/83 (рисунок 1) является резкопеременный режим работы электроприводов крана при выполнении грузовых операций, который имеет четко выраженный циклический характер. При выполнении грузовых операций, питание СЭЭС осуществляется от одного дизельгенератора ГСС мощностью 550 кВт или от береговой сети. Эквивалентная мощ-

ность электроприводов, приведенная к ПВ 25%, составляет приблизительно 60% мощности генератора.

Цель исследований. Экспериментальная проверка показателей качества электроэнергии (ПКЭ) на соответствие требованиям правил для судов внутреннего плавания Российского Речного Регистра (ПСВП РРР). Аprobация методики проведения исследований ПКЭ в судовых электроэнергетических системах [1, 2].

Методика испытаний. Измерения проводились в течение одного цикла работы крана по перегрузке груза массой 5 т (20% от максимальной грузоподъемности). Цикл работы во время проведения эксперимента: подъем груза; поворот на 90° с одновременным вылетом стрелы на 12 м, опускание груза, подъем пустого грузозахватного устройства, поворот на 90° и возвращение крана в исходную позицию. Для измерений использовался информационно-вычислительный комплекс (ИВК) «Омск-М» Подключение выполнено к главному распределительному щиту (ГРЩ) и показано на рисунке 2. Задействовано шесть каналов: три канала для измерения напряжения на шинах ГРЩ 400 В и три канала для измерения токов на подводящем фидере питания с берега в точке его подключения к ГРЩ. Испытания проводились в соответствии с требованиями ПСВП РРР Т.3, ГОСТ 13109-97, РД 153-34.0-15.501-00 [3, 4].

Измерения проводились прибором «Омск-М», заводской номер №42, год выпуска 2009 г. Сертификат метрологической проверки №16976, от 09.06.2009 г. Дата измерений 15.07.2009 г.

Результаты исследований. Исследование отклонения напряжения и частоты от номинальных значений на соответствие п. 2.2.1 ПСВП РРР Т.3, сведены в таблицах 1-3 и на рисунке 3.

Таблица 2 – Нормируемые значения отклонения напряжения в сети 0,4 кВ, погрешность измерений 0,73%, В

Параметр	$U_{ном}$	$U_{max\Delta l}$	$U_{min\Delta l}$	$U_{max\Delta ke}$	$U_{min\Delta ke}$	t_{ke}, c
Нормируемое значение	400	424,00	360,00	460,00	280,00	1,5
Измеренное значение	400	400,92	372,76	–	–	–

Таблица 3 – Нормируемые значения отклонения частоты в сети 0,4 кВ, погрешность измерений 0,73%, Гц

Параметр	$f_{ном}$	$f_{max\Delta l}$	$f_{min\Delta l}$	$f_{max\Delta ke}$	$f_{min\Delta ke}$	t_{ke}, c
Нормируемое значение, Гц	50,00	52,50	47,50	55,00	45,00	5
Измеренное значение, Гц	50,00	50	49,97	–	–	–



Рисунок 1 – Общий вид плавкрана СПГ-43/83

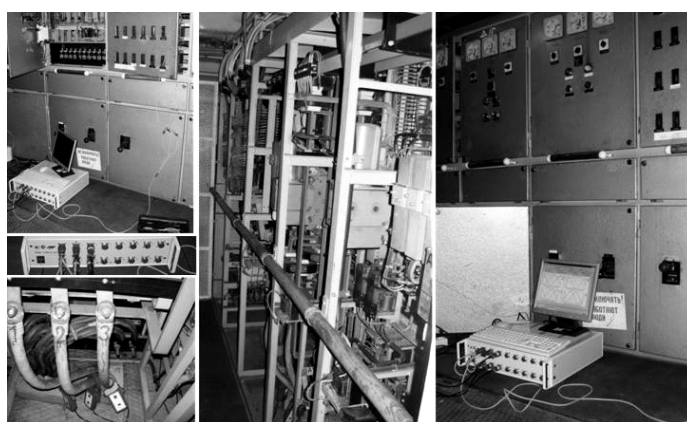


Рисунок 2 – Подключение ИВК «Омск-М» к ГРЩ СПГ 43/83

Таблица 1 – Нормируемые значения отклонения напряжения и частоты

Параметр	Отклонение от номинальных значений, %		Продолжительность кратковременного отклонения, с
	длительное	кратковременное	
Напряжение	6	15	1,5
	-10	-30	
Частота	±5	±10	5

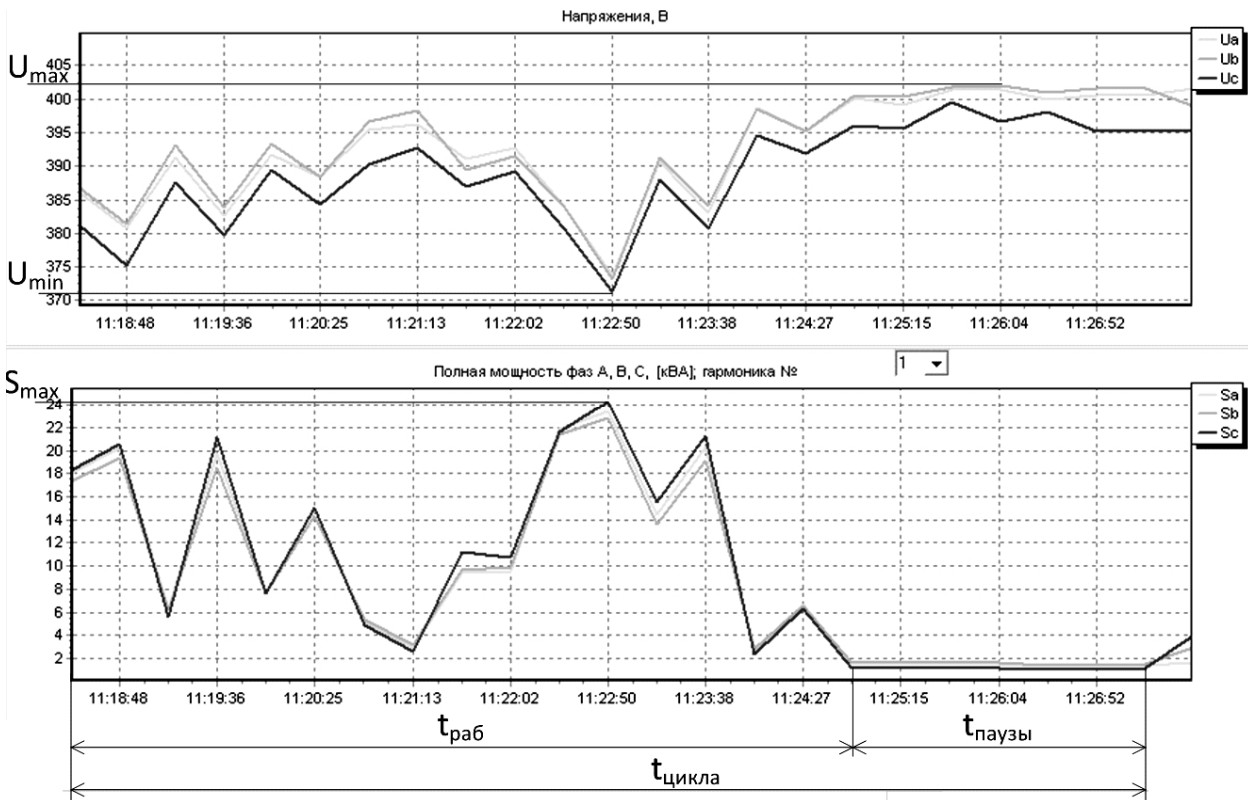


Рисунок 3 – Изменение напряжения в зависимости от нагрузки СЭЭС

Исследование коэффициента нелинейных искажений $K_{ни}$ напряжения судовой сети на соответствие п.6.9.2 ПСВП РРР [1], показали, что максимальное значение $K_{ни}$ равно 1,5%, при нормируемом не более 10%. Изменения коэффициента нелинейных искажений в зависимости от нагрузки СЭЭС представлено на рисунке 4.

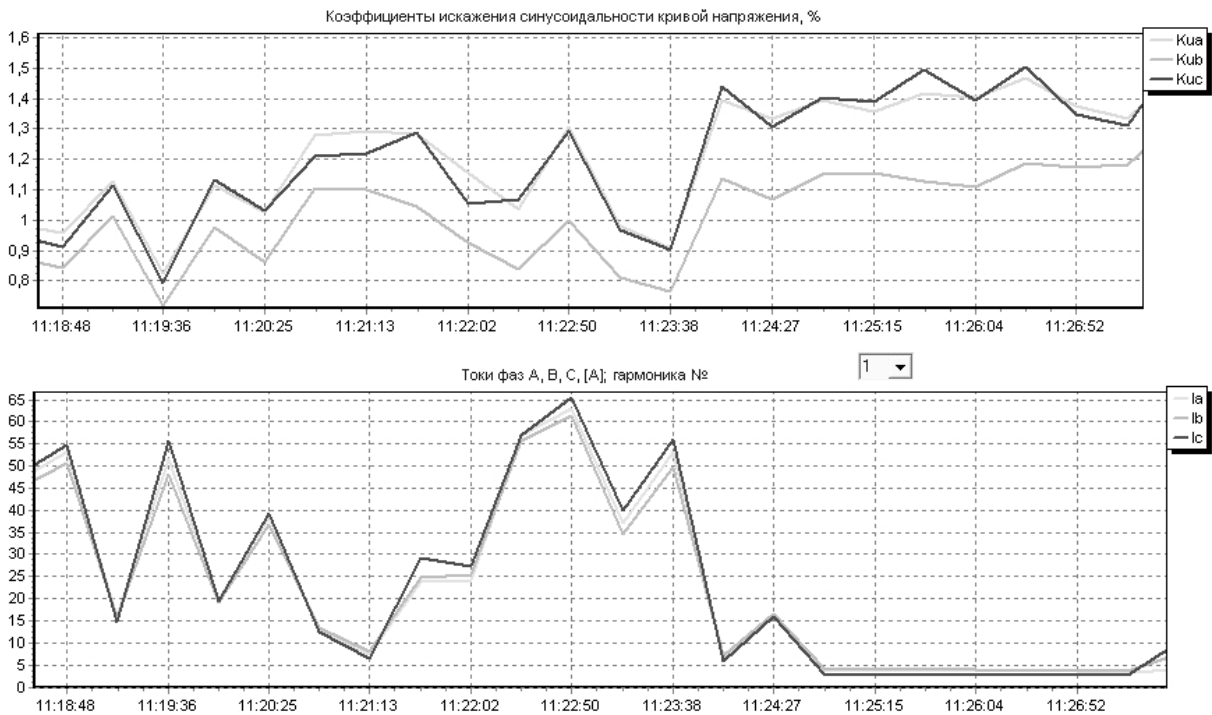


Рисунок 4 – Изменения коэффициента нелинейных искажений в зависимости от нагрузки СЭЭС

Исследование гармоник питающего напряжения на соответствие п.15.1 ПСВП РРР Т.3. В таблице 4 приведены нормируемые значения гармоник питающего напряжения. На рисун-

ке 5 представлен спектр гармоник напряжения при одном цикле работы крана. Относительное время присутствия гармоник в каждой фазе сети показано в таблице 5.

Таблица 4 – Нормируемые значения гармоник питающего напряжения

Вид испытаний	Нормы (проценты от номинальных значений параметров)	Критерий
Гармоники питающего напряжения	50-900 Гц (10%) 0,9-6 кГц (10-1%) 6-10 кГц (1%)	A

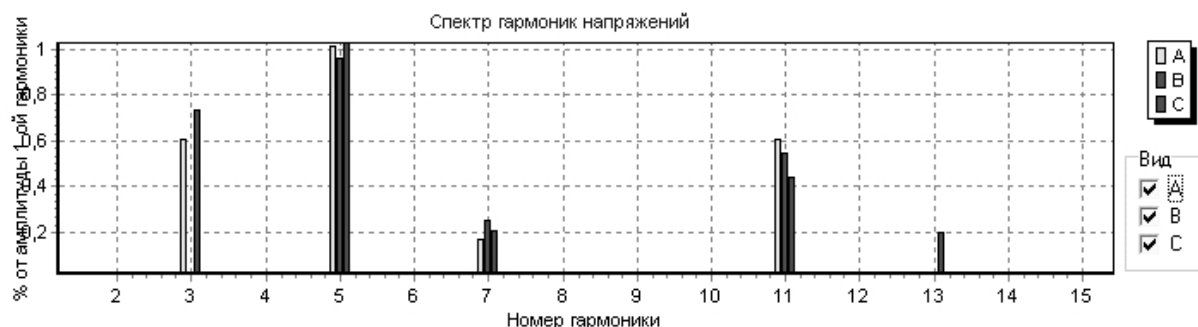


Рисунок 5 – Спектр гармоник напряжения при одном цикле работы крана

Таблица 5 – Относительное время присутствия гармоник в каждой фазе сети, %

Гармоника	1	3	5	7	11	13
$100(T_{ia}/T_{ин})$	100,00	100,00	100,00	8,33	100,00	4,17
$100(T_{ib}/T_{ин})$	100,00	25,00	100,00	87,50	100,00	0,00
$100(T_{ic}/T_{ин})$	100,00	100,00	100,00	79,17	100,00	12,50

Обозначения: T_{ia}, T_{ib}, T_{ic} - интервал времени, в течение которого в напряжении фаз a, b, c , соответственно, присутствовала i -ая гармоника, $T_{ин}$ - заданный интервал измерений

Заключение. Из результатов измерений ПКЭ, следует, что качество электрической энергии по показателям:

- установившемуся отклонению напряжения, требованиям п. 2.2.1 Т.3 ПСВП РРР - соответствует;
- по отклонению частоты, требованиям п.2.2.1 Т.4 ПСВП РРР – соответствует;
- по коэффициенту нелинейных искажений $K_{нл}$ напряжения судовой сети, требованиям п.6.9.2 Т.3 ПСВП РРР – соответствует;
- по гармоникам питающего напряжения до 40-й гармоники включительно, требованиям п.15.1 Т.3 ПСВП РРР – соответствует.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. Т.3. / Электрическое оборудование, средства радиосвязи, навигационное оборудование». -М., Российский Речной Регистр, 2009. -454 с.
- 2 ГОСТ 13109-97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения: введен 01.07.1997. -М.: Госстандарт, 1998. -56 с.
- 3 РД 153-34.0-15.501-01. Методические указания по контролю и анализу качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -М.: Энергия, 2001. - 190 с.
- 4 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6-10 кВ / Е.В. Иванова, А.А. Руппель: под ред. В.П. Горелова: Монография. -Омск: Омск. фил. Новосибир. гос. акад. вод. трансп., 2004. -284 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: плавкран, электрическая энергия, качество

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вишнягов Михаил Геннадьевич, зам. начальника «Обь-Иртышская инспекция», филиал ФГУ «РРР»

Журовский Анатолий Михайлович, гл. инженер, ОАО «Иртышское пароходство»

Клеутин Владислав Иванович, ассистент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»

Сидоренко Александр Александрович, канд. техн. наук, доцент «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

644121, г. Омск, ул. 10 Лет Октября, 11, «Обь-Иртышская инспекция», филиал ФГУ «РРР»

644024, г. Омск, пр.К. Маркса, 3, ОАО «Иртышское пароходство»

644043, г. Омск, ул. И.Алексеева, 4, «Омский ИВТ», филиал ФГОУ ВПО «НГАВТ»

630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РОЗНИЧНЫХ РЫНКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АСКУЭ РРЭ) НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

И.Ю. Норкин

FEATURES OF CONSTRUCTION AUTOMATIZED SYSTEMS OF COMMERCIAL REGISTER ELECTRICAL ENERGY OF RETAIL MARKETS (ASCRE RME) ON RAILWAY SYSTEM

«Omsk state transport university»

I.Yu. Norkin

Features of structure and engineering solutions of automatized systems of commercial register electrical energy of retail markets, which used on railway system, contemplated in article.

Рассмотрены особенности структуры и технические решения автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии розничных рынков, применяемых на сети железных дорог.

На сети железных дорог России система коммерческого учета электроэнергии розничных рынков электроэнергии (АСКУЭ РРЭ) внедряется с 2007 г. В концепцию создания системы заложено два основных принципа: надежность технологий сбора и передачи данных и открытая архитектура системы, позволяющая вести ее дальнейшее развитие. АСКУЭ РРЭ решает следующие основные задачи [1]:

- сбор, накопление и обработка информации о потреблении электроэнергии в автоматическом режиме;
- представление информации о передаче и потреблении электроэнергии по сетям 0,4 кВ ОАО «Российские железные дороги (РЖД)»;
- контроль состояния приборов учета и каналов связи;
- составление баланса отпуска-потребления электроэнергии с различным уровнем детализации;
- снижение уровня коммерческих потерь.

Система состоит из двух уровней: измерительная система и уровень обработки данных. Структурная схема АСКУЭ РРЭ приведена на рисунке 1.

Измерительная система включает в себя счетчики электроэнергии, аппаратуру сбора и передачи данных и каналы связи.

В состав измерительной системы АСКУЭ РРЭ входит следующее оборудование:

- однофазные и трехфазные электронные счетчики электроэнергии;
- трансформаторы тока;
- устройства сбора и передачи данных (PLC-модемы), могут быть установлены как отдельные устройства, обслуживающие несколько счетчиков, так и встраиваться в счетчик электрической энергии;
- маршрутизатор (концентратор сетевой) – устройство сбора данных от счетчиков по сети 0,4 кВ и передачи через канал связи в центр управления системы.

Для системы АСКУЭ РРЭ, внедряемой на сети железных дорог, выбраны однофазные электронные счетчики электрической энергии «Echelon EM-1021» и трехфазные «Echelon EM-1023». Счетчики предназначены для измерения активной и реактивной электроэнергии и мощности в обоих направлениях, имеют следующие технические характеристики:

- класс точности 1,0 для активной мощности, 2,0 – реактивной;
- рабочая сила тока 5А, максимальная – 100 А;
- интервалы регистрация данных 5, 10, 15, 30, 60 мин. или 1 сутки;
- четыре тарифа с десятью возможными уровнями переключения в день;
- энергонезависимая память;

– встроенный PLC-модем.

PLC-модем предназначен для сбора учетной информации со счетчиков и передачи данных на маршрутизатор, расположенный на трансформаторной подстанции. PLC (Power Line Communication) – это технология передачи данных по силовой электрической сети 0,4 кВ. Она обеспечивает высокую эффективность системы при ее значительном удешевлении.

Каждый PLC-модем имеет свой уникальный идентификатор, в памяти модема фиксируется количество импульсов по каждому телеметрическому и цифровому входу за заданные интервалы времени.

По запросу маршрутизатора модем передает накопленные данные на трансформаторную подстанцию. По команде маршрутизатора длительность и начало измерительных интервалов могут быть изменены.

Маршрутизатор представляет собой автономное устройство, подключаемое к трехфазной сети, которая используется как источник питания маршрутизатора, так и PLC-магистраль для обмена информацией.

Маршрутизатор подключается к двум секциям шин 0,4 кВ одной трансформаторной подстанции. Один маршрутизатор позволяет собирать информацию по каждой секции с 256 PLC-модемов. Информация передается по электрическим сетям 0,4 кВ от PLC-модемов к маршрутизатору в последовательном коде, обеспечивающим надежность и достоверность передачи данных.

Функции маршрутизатора:

- сбор информации с PLC-модемов;
- передача на PLC-модемы служебной информации (начало считывания, подтверждение приема, значения измерительных интервалов);
- обработка, архивация и хранение накопленных данных;
- передача информации в линейный центр сбора и управления;
- прием из линейного центра сбора и управления служебной информации.

Для передачи данных между маршрутизаторами и линейными центрами сбора и обработки данных могут применяться следующие технологии: сеть передачи данных ОАО «РЖД», мобильная связь, радиосвязь, проводная связь. В АСКУЭ РРЭ распространение получила мобильная связь стандарта GSM.

Обработка данных производится на трех иерархически связанных уровнях управления:

- линейные центры сбора и управления, расположенные в линейных отделах структурных подразделений Трансэнерго;
- дорожные центры сбора и управления, расположенные в структурных подразделениях Трансэнерго железных дорог;
- головной центр обработки данных, расположенный в филиале Трансэнерго.

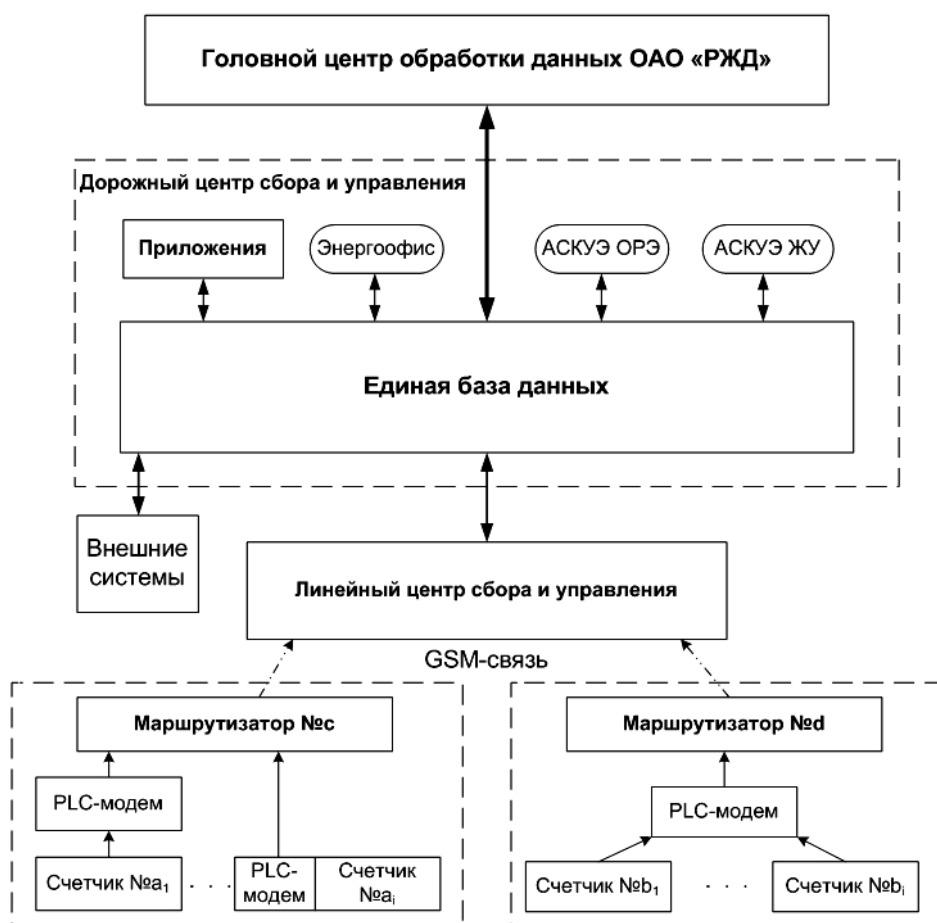


Рисунок 1 – Структурная схема АСКУЭ РРЭ

На каждом уровне расположены сервера сбора и обработки данных и автоматизированные рабочие места пользователей системы. Обмен данными и нормативно-справочной информацией осуществляется по существующей системе передаче данных ОАО «РЖД».

Основой центров управления и обработки данных является единая иерархическая база данных, которая содержит:

- описание структуры распределительной сети и оборудования подстанций;
- перечень абонентов, энергосбытовых и сетевых организаций;
- описание структуры и оборудования АСКУЭ РРЭ (измерительных приборы, системы передачи данных).
- нормативно-справочную информацию.

Для обработки данных используются приложения. Приложениями системы являются как пользовательские приложения, обеспечивающие взаимодействие с пользователем (отображение данных, ввод информации, расчет баланса, формирование отчетных документов, прогноз потребления), так и системные, непосредственно не взаимодействующие с пользователем (подсистема сбора, мониторинга оборудования).

Основными функциями центров сбора, управления и обработки данных являются:

- сбор данных о потреблении электроэнергии;
- контроль состояния измерительных приборов, каналов передачи данных, маршрутизаторов, формирование архива событий;
- синхронизация времени;
- расчет балансов с различным уровнем детализации, выявление коммерческих потерь электроэнергии;
- расчет потерь электроэнергии в сетях ОАО «РЖД»;
- расчет объемов электроэнергии переданных сторонним потребителям по сетям ОАО «РЖД»;
- оперативный контроль ограничений потребителей;
- прогнозирование потребления и потерь электроэнергии;
- обмен данными с внешними и внутренними системами;
- формирование различных форм статистической отчетности.

Для работы системы АСКУЭ РРЭ необходимо осуществлять информационный обмен с различными системами. Их можно разделить на две группы – внутренние системы ОАО «РЖД» и внешние системы.

К внутренним системам относятся системы учета электроэнергии – АСКУЭ оптового рынка электроэнергии, АСКУЭ железнодорожных узлов, программно-алгоритмический комплекс «Энергоофис».

Данные систем учета электроэнергии необходимы для составления балансов по подстанциям, линиям, районам, расчета потерь и т.д. Обмен данными осуществляется с использованием программ-шлюзов. В перспективе планируется разработка стандартов обмена информацией, при которой каждая вновь подключаемая система учета должна будет предоставлять данные по заданному протоколу в едином заданном формате.

Внешними системами являются все системы других организаций, взаимодействующие с АСКУЭ РРЭ. Это системы энергосбытовых и сетевых организаций, системного оператора и других. Обмен с ними осуществляется по согласованным регламентам в заданных форматах и протоколах обмена. В число внешних систем входят также системы, обеспечивающие данные, необходимые для прогнозирования (данные о температуре, влажности и атмосферном давлении воздуха и т.д.). Обмен с внешними системами осуществляется через шлюзы безопасности, размещенные в вычислительном центре железной дороги.

Описанное построение АСКУЭ РРЭ на железнодорожном транспорте позволяет успешно выполнять задачи, возложенные на систему.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бизнес-план инвестиционного проекта создания автоматизированной системы коммерческого учёта электроэнергии ОАО «РЖД» розничных рынков электроэнергии (АСКУЭ РРЭ). -М., 2006.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматизированная система коммерческого учета электроэнергии розничных рынков, измерительная система, передача данных
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Норкин Игорь Юрьевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ В СЧЁТЧИКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ

ГОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.А. Хряков

THE COMPENSATION METHOD OF BIAS ZERO IN THE COUNTERS OF ELECTRIC POWER DC FOR ROLLING STOCK AND TRACTION SUBSTATION

«Omsk state transport university»

A.A. Khryakov

The article describes the construction problems of the measuring tract of the counter for DC electric rolling stock and traction transformer substation. Proposed the compensation method of bias zero ADC for continuous measurement of voltage and current, are given advice on choosing the parameters of the measuring tract, presents the advantages of applying this method for DC counters.

Освещены проблемы построения измерительного тракта счётчика постоянного тока для электроподвижного состава и тяговых трансформаторных подстанций, предложен метод компенсации смещения нуля АЦП при непрерывном измерении тока и напряжения, приведены рекомендации по выбору параметров предложенного измерительного тракта, представлены преимущества применения метода в счётчиках постоянного тока.

Современные счётчики электрической энергии невозможно представить без применения микропроцессорной техники и цифровой обработки сигналов. Устройства, использующие ЦОС, обладают высокой точностью реализации алгоритмов, а некоторые алгоритмы даже не могут быть реализованы на аналоговых платформах в принципе. Однако измеряемые сигналы напряжения и тока являются аналоговыми величинами, и именно от точности преобразования зависит точность всего устройства в целом. В данной статье рассматривается один из возможных методов аналого-цифрового преобразования сигналов, содержащих постоянную составляющую. Такими являются сигналы с датчиков тока и напряжения на тяговых подстанциях и электроподвижном составе постоянного тока.

Промышленность выпускает множество компонентов для построения счётчиков электрической энергии различного класса точности, например [1]. Однако эти микросхемы предназначены для работы с переменным током и напряжением, и не позволяют обрабатывать постоянную составляющую, поэтому такие устройства невозможно использовать в счётчиках постоянного тока, что приводит к необходимости построения аналого-цифровой системы ввода и обработки данных на компонентах общего применения. При этом одна из важнейших проблем заключается в компенсации смещения нуля аналоговых входных цепей и аналого-цифрового преобразователя (АЦП). В последнее время предложено немало методов решения этой проблемы, например метод коррекции нуля, описанный в заявке «Устройство для ввода аналоговых сигналов с тензометрических датчиков» [2]. Рассмотрим, каким образом можно решить эту проблему с использованием современной элементной базы и аппаратно-программных методов.

Существует ряд критериев выбора АЦП для счётчика. Однако основными являются стоимость системы и её точность. С точки зрения точности измерения постоянного тока наиболее эффективно использовать интегрирующие АЦП с встроенной функцией коррекции смещения нуля. Однако такие АЦП имеют узкую частотную полосу пропускания сигнала и во время калибровки нуля отключаются от источника сигнала [3]. При этом постоянный ток на тягу поездов после прохождения выпрямительного устройства, несмотря на специальные меры (фильтры) имеет значительные пульсации. Например, на выходе шести-пульсового выпрямителя присутствуют гармоники с частотами 300 Гц, 600 Гц, 900 Гц и т.д. значительной амплитуды. Поэтому полоса пропускания аналого-цифрового тракта должна быть значительно выше этих гармоник, иначе увеличится погрешность измерения.

Наиболее эффективны с точки зрения стоимости и точности АЦП типа сигма-дельта. Одной из особенностей их применения является отсутствие необходимости использовать на входе аналоговый фильтр высокого порядка, ввиду особенности конструкции [4]. Для работы с таким АЦП достаточно применить аналоговый фильтр первого порядка, что значительно упрощает аппаратную структуру и снижает стоимость устройства. Многоканальные АЦП такого типа представляют наибольший интерес для построения систем, синхронно обрабатывающих несколько аналоговых каналов. Примером такого АЦП является микросхема

AD73360 компании Analog Devices включающая в свой состав шесть отдельных АЦП, работающих синхронно [4]. Несмотря на высокую степень интеграции, стоимость подобных компонентов с каждым годом снижается. Учитывая этот факт, предлагается система ввода аналоговых сигналов с постоянной составляющей, в реальном времени с компенсацией смещения нуля, построенная на АЦП данного типа. Система компенсации строится по принципу избыточности: для реализации одного канала измерения используется два канала АЦП. Каждый канал подключается к источнику сигналов через отдельные электронные ключи. Дополнительные ключи используются для формирования значения нуля на входе канала АЦП. Функциональная схема тракта аналогово-цифрового преобразования представлена на рисунке 1.

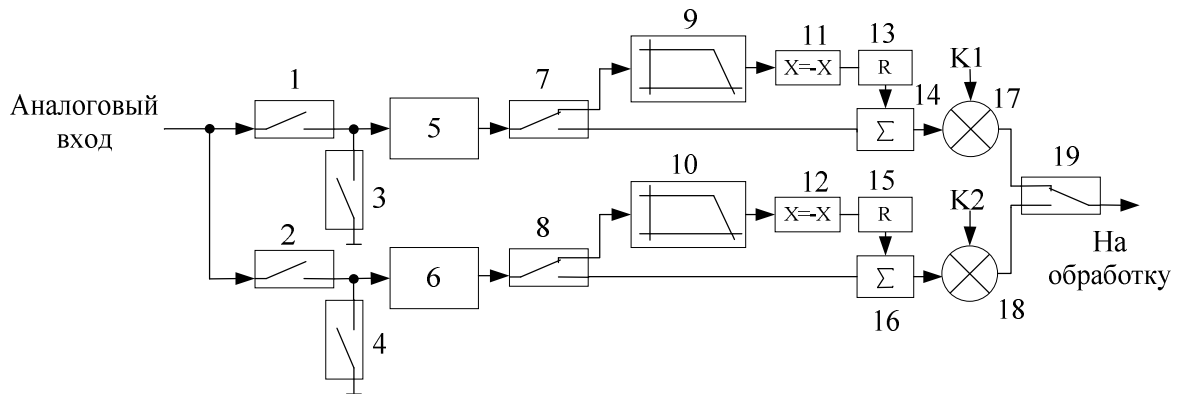


Рисунок 1 – Функциональная схема тракта аналогово-цифрового преобразования с коррекцией нуля

Электронные ключи 1 и 2 поочередно подключают каналы АЦП 5 и 6 к источнику сигнала. Ключи 3 и 4 замыкают входы каналов АЦП 5 и 6 на шину с нулевым уровнем при разомкнутых ключах 1 и 2, для обеспечения калибровки нуля. Эти элементы схемы являются аппаратными. Каналы АЦП работают при этом синхронно. Остальные элементы реализуются программно, процессором, производящим ввод данных с АЦП. Устройство работает следующим образом. Замыкаются ключи 1 и 4, ключи 2 и 3 остаются разомкнутыми. В этом положении АЦП 5 преобразует входной сигнал в цифровую форму, после чего данные проходят через коммутатор 7 и поступают на сумматор 14, где из них вычитается ошибка смещения, хранящаяся в регистре 13, домножаются на масштабирующий коэффициент K_1 и через коммутатор 19 поступают на дальнейшую обработку. В это время на входе АЦП 6 устанавливается нулевой уровень и все данные через коммутатор 8 направляются на узкополосный цифровой фильтр низких частот 10 для выделения постоянной составляющей, которая сохраняется в регистре 15 с противоположным знаком. При переключении каналов размыкается ключ 4, замыкается ключ 2 и на вход АЦП 6 начинает поступать аналоговый сигнал от источника. Затем, спустя время, необходимое для установления данных на выходе сигма-дельта АЦП, коммутатор 8 переводит систему на вывод данных с АЦП 6, а коммутатор 7 направляет данные с АЦП 5 на вход фильтра 9, для формирования смещения нуля этого канала и цикл калибровки повторяется для первого канала. Период переключения каналов определяется временем установления данных на выходе сигма-дельта АЦП и постоянной времени фильтров 9 и 10. Порядок работы устройства иллюстрирует временная диаграмма на рисунке 2 при условии, что время переключения ключей пренебрежимо мало по сравнению с полосой пропускания.

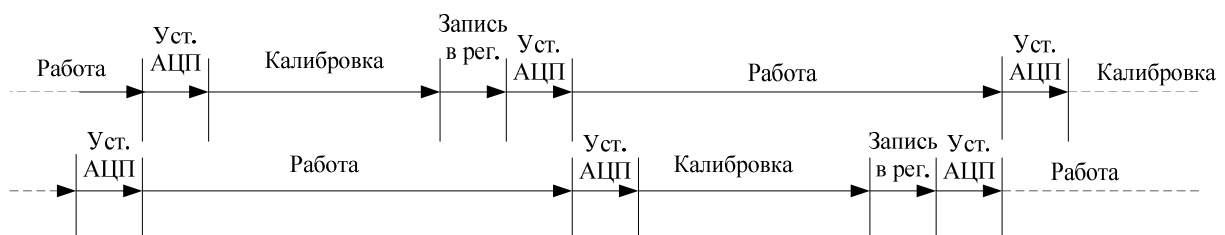


Рисунок 2 – Временная диаграмма работы устройства

Период переключения каналов характеризует следующее выражение

$$T = 2\tau_{\text{АЦП-5}} + \tau_{\text{ф9}} + 2\tau_{\text{АЦП-6}} + \tau_{\text{ф10}},$$

где $\tau_{\text{АЦП-5}}, \tau_{\text{АЦП-6}}$ – время установления данных на выходах АЦП 5 и 6 после переключения;
 $\tau_{\text{ф9}}, \tau_{\text{ф10}}$ – время установления данных на выходах фильтров 9 и 10.

Выходные данные каждого канала домножаются на постоянные коэффициенты K_1 и K_2 , которые вычисляются при первоначальной калибровке всего устройства и обеспечивают идентичность усиления двух каналов. Учитывая наличие входного программируемого усилителя на входе АЦП AD73360, выходные данные для первого канала можно описать выражением

$$y_n = (K_{1a}x_n + \alpha_1 - \beta_1)K_{1d},$$

где x_n – входные аналоговые данные;

K_{1a} – коэффициент усиления входного аналогового сигнала встроенным программируемым услителем АЦП 5;

α_1 – суммарная ошибка смещения нуля входных аналоговых цепей и АЦП 5 в рабочем режиме;

β_1 – корректирующее значение смещения нуля, хранимое в регистре 13;

K_{1d} – коэффициент усиления выходного цифрового сигнала умножителем 17 (значение K_1).

Соответственно, для второго канала выходные данные будут описываться выражением

$$y_n = (K_{2a}x_n + \alpha_2 - \beta_2)K_{2d}.$$

В идеальном случае, когда $\alpha = \beta$ ошибка смещения нуля должна устраняться полностью, однако как входные данные, так и полученное в цикле калибровки значение коррекции смещения нуля β являются величинами, приведёнными к конечной разрядности АЦП. Поэтому остаётся ошибка, связанная с квантованием данных величин, которая достигает ± 1 разряд АЦП в каждом канале.

Так как наибольшее влияние на смещение нуля оказывает изменение температуры, то время непрерывной работы одного канала до необходимости его переключения в режим калибровки в простейшем случае можно описать следующим неравенством

$$t \leq \frac{U_{\text{доп}}}{\Delta u \cdot v(t)} + 2\tau_{\text{АЦП}} + \tau_{\text{ф}},$$

где $U_{\text{доп}}$ – допустимое значение напряжения смещения нуля;

Δu – напряжение смещение нуля входных аналоговых цепей при изменении температуры;

$v(t)$ – скорость изменения температуры окружающей среды;

$\tau_{\text{АЦП}}$ – время установления данных АЦП (5 и 6);

$\tau_{\text{ф}}$ – постоянная времени низкочастотного фильтра (9 и 10),

Период переключения каналов, соответственно, составит $2t$. Наибольшая точность вычисления смещения нуля достигается при меньшей скорости изменения температуры. Однако наилучшие результаты при выборе периода переключения каналов можно получить, применив данные датчика температуры.

Вариант реализации данного метода с использованием дифференциальных входов АЦП приведён на рисунке 3. Именно такое включение необходимо при работе с сигналами

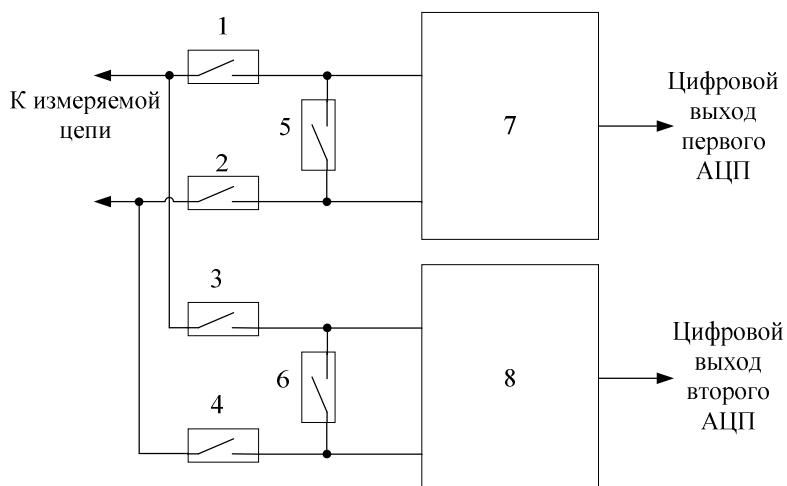


Рисунок 3 – Структурная схема дифференциального входа АЦП с коррекцией смещения нуля

токовых шунтов, имеющих малое выходное номинальное напряжение. В отличие от предыдущего варианта, появляются дополнительные ключи, а программная обработка остаётся без изменений.

Использование предлагаемого метода в счётчиках постоянного тока позволит применить в измерительном тракте дельта-сигма АЦП, что повысит точность преобразования и увеличит межповерочный интервал за счёт отсутствия необходимости проверять и корректировать смещение нуля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Решения для счётчиков электроэнергии / Вестник электроники. -2007. -№3.

2 Чернов, В.Г. Устройство для ввода аналоговых сигналов с тензометрических датчиков. -Заявка: 94027480/09, 19.07.1994.

3 Федорков, Б.Г. Микросхемы ЦАП и АЦП: функционирование, параметры, применение / Б.Г. Федорков, В.А. Телец. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -320 с.

4 AD73360, Six-input channel analog front end, Data Sheet, 2000. -35 p.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: АЦП, коррекция смещения нуля, счётчик постоянного тока

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Хряков Александр Анатольевич, аспирант ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г. Омск, пр. К. Маркса, 35, ГОУ ВПО «Омский ГУПС»

АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ДВУХМАШИННОГО СОВМЕЩЁННОГО ГЕНЕРАТОРА

ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре государственный технический университет»

В.М. Кузьмин, И.Н. Дубровский

AN INDEPENDENT STABLE FREQUENCY SOURCE OF ALTERNATING VOLTAGE ON THE BASIS OF DUAL INTEGRATED GENERATOR SYSTEM

«Komsomolsk-na-Amure state technical university»

V.M. Kuzmin, I.N. Dubrovskiy

Under consideration was the scheme of three-phase independent stable frequency sources based on the dual integrated generator system, forming the output voltage curve by composition of two sinusoidal electromotive forces. The results of the experimental researches are given below.

Рассмотрена схема трёхфазного автономного источника стабильной частоты на основе двухмашинного совмещённого генератора с формированием кривой выходного напряжения путём сложения двух синусоидальных ЭДС. Приведены результаты экспериментальных исследований.

Получение трёхфазного напряжения стабильной частоты при переменной скорости вращения генератора является одной из важных задач электроснабжения специальных установок. К таким установкам могут быть отнесены авиационные генераторы, приводимые во вращение от основного авиационного двигателя; танковые генераторы, приводимые во вращение от основной силовой установки; генераторы, приводимые во вращение от ветродвигателей, и др.

В автономных системах с приводом постоянной скорости (ППС) получение стабильной частоты достигается путём воздействия на механическую часть установки. ППС является достаточно сложной системой, его применение ограничено громоздкостью, сложностью изготовления, низким быстродействием и надёжностью.

Одним из возможных устройств для генерирования напряжения стабильной частоты является машинно-вентильная система [1], выполненная на основе двух асинхронных машин и асинхронного возбудителя, установленных на одном валу и расположенных в одном корпусе (рисунки 1).

Роторные обмотки машин подключены к асинхронному возбудителю (АВ) таким образом, что одна из них работает в режиме электромагнитного тормоза (ЭМТ), а другая – в режиме асинхронного генератора (АГ). Статорная обмотка ЭМТ выполнена в виде обычной трехфазной обмотки. На статоре АГ расположено три идентичных трехфазных обмотки, уложенных в одни и те же пазы. Выводы выходной обмотки ЭМТ подключены к нулевым точкам статорных обмоток АГ. Статорная обмотка асинхронного возбудителя подключена к фазосдвигающему устройству (ФСУ) подключенному к выходу СК, который служит для вы-

деления огибающей биений выходного напряжения электромашинного генератора.

В статорной обмотке ЭМТ и АГ индуцируется трехфазная ($m = 3$) система ЭДС. При произвольном числе фаз ЭДС генератора определяются следующим образом. Для машины, работающей в режиме ЭМТ

$$e_{i1} = E_{1m} \sin \left[(\omega_1 + \omega_0)t - (i-1) \frac{2\pi}{m} \right],$$

где m – число фаз статорной обмотки ЭМТ;

$i = 1, 2, 3$ – номер фазы статорной обмотки ЭМТ;

E_{1m} – амплитуда ЭДС статорной обмотки ЭМТ;

ω_1 – угловая частота ЭДС вращения;

ω_0 – угловая частота тока возбуждения.

В статорных обмотках АГ индуцируются ЭДС

$$e_{2j} = E_{2m} \sin \left[(\omega_1 + \omega_0)t - (j-1) \frac{2\pi}{m} \right],$$

где m – число фаз статорной обмотки АГ;

$j = 1, 2, 3$ – номер фазы статорной обмотки АГ;

E_{2m} – амплитуда ЭДС статорной обмотки АГ.

Тогда, при равенстве амплитуд ЭДС машин

$$E_{1m} = E_{2m} = E_m,$$

ЭДС электромашинного генератора определяются следующим образом:

$$e_{ij} = e_{i1} + e_{2j},$$

или

$$e_{ij} = 2E_m \sin \left[\omega_1 t - (i+j-2) \frac{\pi}{m} \right] \cos \left[\omega_0 t - (i+j) \frac{\pi}{m} \right]. \quad (1)$$

Анализ выражения (1) показывает, что огибающие результирующих ЭДС обмоток, подключенных к первому СК, сдвинуты по фазе относительно ЭДС обмоток, подключенных ко второму СК на $1/2m$ периода тока возбуждения, или на π/m собственного периода. Аналогичным образом можно установить, что огибающие результирующих ЭДС обмоток, подключенных к третьему коммутатору, сдвинуты по фазе относительно огибающих ЭДС обмоток, подключенных к первому СК на $1/m$ их собственного периода.

При питании обмотки АВ от ФСУ переменным током стабильной частоты ω_0 и вращении вала с угловой частотой ω_1 , в роторной обмотке возбуждателя наводится ЭДС, изменяющаяся с угловой частотой

$$\omega_e = \omega_1 \rho_1 + \omega_0,$$

где ρ_1 – число пар полюсов обмотки возбуждателя.

Нагрузкой для роторной обмотки возбуждателя являются роторные обмотки ЭМТ и АГ. В статорных обмотках этих машин наводится ЭДС с угловыми частотами:

$$\omega_2 = \omega_1 (\rho_2 - \rho_1) - \omega_0; \quad \omega_3 = \omega_1 (\rho_3 + \rho_1) + \omega_0,$$

где ρ_2, ρ_3 – числа пар полюсов АГ и ЭМТ соответственно.

Частота биений выходного напряжения электромашинного генератора определяется следующим образом

$$\omega_b = \omega_1 (2\rho_1 + \rho_3 - \rho_2) + 2\omega_0.$$

Частота выходного напряжения источника не будет зависеть от частоты вращения вала приводного двигателя при условии $\omega_b = 2\omega_0$. Тогда числа пар полюсов асинхронных машин, составляющих генератор, должны выбираться из условия

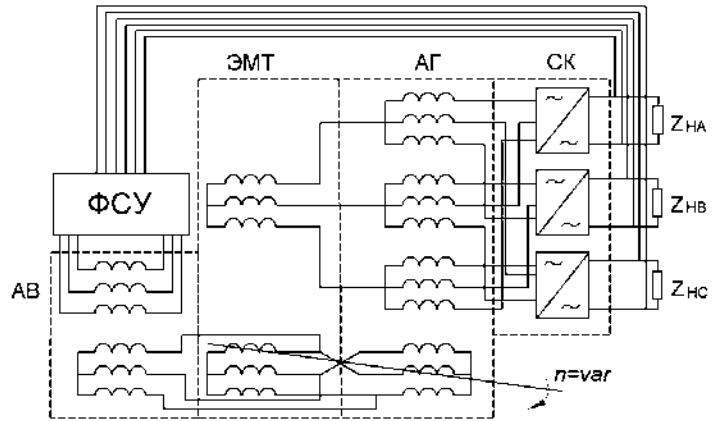


Рисунок 1 – Трехфазный автономный источник стабильной частоты на основе двух асинхронных машин с асинхронным возбуждителем

$$2\rho_1 + \rho_3 = \rho_2.$$

Наличие фазосдвигающего устройства позволяет синхронизировать выходное напряжение источника с напряжением возбуждения, а также создать условия для самовозбуждения генератора и, следовательно, исключить из схемы дополнительный источник тока возбуждения стабильной частоты.

Все три машины, составляющие генератор могут быть совмещены как по магнитным цепям, так и по обмоткам. Это существенно упрощает конструкцию, улучшает массогабаритные показатели и повышает надежность устройства в целом.

Угол сдвига фаз между основными гармоническими эквивалентного тока и напряжения генератора, определяемый коммутационным действием трех однофазных вентильных преобразователей, определится следующим образом [2]

$$\varphi_{\text{эке}} = \frac{1}{2} \left[\arccos \left(1 - \frac{2x_k I_{\text{нм}}}{\sqrt{3} U_{\text{м1}}} \right) \right],$$

где $I_{\text{нм}}$ – модуль изображающего вектора тока нагрузки;

$U_{\text{м1}}$ – модуль изображающего вектора огибающей модулированного напряжения генератора;

x_k – коммутационное сопротивление фазы генератора.

Уравнение внешней характеристики вентильного преобразователя, записанное векторной форме

$$\dot{U}_H = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \dot{U}_1 - \frac{3x_k}{\pi} i_H, \quad (2)$$

где \dot{U}_H – изображающий вектор напряжения нагрузки источника;

\dot{U}_1 – изображающий вектор огибающей модулированного напряжения генератора;

i_H – изображающий вектор тока нагрузки.

Тогда, учитывая, что

$$\dot{U}_H = \rho_t (L_H + L_K) i_H + i_H R_H,$$

и умножая уравнение (2) на координатный множитель $\exp(-j\omega_0 t)$, получаем уравнение в векторной форме, описывающее переходные процессы в цепи нагрузки вентильного преобразователя в координатных осях α , β , вращающихся с частотой тока нагрузки

$$(\rho_t + j\omega_0)(L_H + L_K) i_{\text{НС}} = \frac{3\sqrt{3}}{\pi} \dot{U}_r - \left(R_H + \frac{3x_k}{\pi} \right) i_{\text{НС}},$$

где $i_{\text{НС}}$, \dot{U}_r – изображающие векторы тока нагрузки и амплитуды напряжения генератора в синхронно вращающихся осях,

$$i_{\text{НС}} = i_H \exp(-j\omega_0 t); \quad \dot{U}_r = \dot{U}_1 \exp(-j\omega_0 t).$$

Обозначив:

$$x_k = L_K \omega_1; \quad x_H = L_H \omega_0; \quad \omega_1 = k \omega_0; \quad \rho_H = \frac{k(\pi R_H + 3x_k)}{\pi(kx_H + x_k)},$$

получим окончательно уравнение, описывающее преобразователь в синхронном (относительном) времени как в переходном, так и в установившемся режимах работы

$$\frac{3\sqrt{3}k}{\pi(kx_H + x_k)} \dot{U}_r = (\rho_t + j\rho_H) i_{\text{НС}}.$$

С учетом соответствующих коммутационных функций [3] первая гармоника эквивалентного тока АГ

$$i'_{1\varnothing} = \frac{3\sqrt{3}I_m}{\pi} \cos \left[(k-1)\omega_0 t - (q-1)\frac{2\pi}{m} + \varphi_H - \varphi_{\text{ЭКВ}} \right].$$

Для ЭМТ:

$$i'_{2\varnothing} = \frac{3\sqrt{3}I_m}{\pi} \cos \left[(k+1)\omega_0 t - (q-1)\frac{2\pi}{m} - \varphi_H - \varphi_{\text{ЭКВ}} \right].$$

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что при симметричной нагрузке источника, электрические машины генератора работают независимо друг от друга на

нагрузку, параметры которой определяются передаточными характеристиками вентильного преобразователя, а также углами сдвига фаз между основными гармоническими фазных напряжений и эквивалентных токов машин.

Система уравнений, описывающая электромагнитные процессы в трехфазном автономном источнике стабильной частоты, может быть записана в системе координат, вращающихся синхронно с изображающим вектором напряжения возбуждения генератора. Применяя систему базовых величин Парка, после преобразований можно записать эту систему уравнений в виде, удобном для программирования.

Для вентильного преобразователя:

$$\rho_t \dot{i}_H = -(j + r_H) \dot{i}_H \frac{3\sqrt{3}k}{\rho(kx_H + x_k)} \dot{e}_r; \varphi_{\text{ЭКВ}} = \frac{1}{2} \left[\arccos \left(1 - \frac{2x_k I_{\text{HM}}}{\sqrt{3} E_{m1}} \right) \right]; I_{\text{ms}} = \frac{3\sqrt{3} \sin \varphi_{\text{ЭКВ}} I_{\text{MH}}}{\pi \varphi_{\text{ЭКВ}}}; \varphi_1 = \varphi_{\text{ЭКВ}} - \varphi_H;$$

$$\varphi_2 = \varphi_{\text{ЭКВ}} + \varphi_H; Z_{\text{ЭКВ}} = \frac{E}{I_{\text{ms}}}; \varphi_H = \arctg \frac{x_H}{R_H}; r_1 = Z_{\text{ЭКВ}} \cos \varphi_1; r_2 = Z_{\text{ЭКВ}} \cos \varphi_2; x_2 = Z_{\text{ЭКВ}} \sin \varphi_2;$$

$$x_1 = Z_{\text{ЭКВ}} \sin \varphi_1; \rho_H = \frac{k(\pi R_H + 3x_k)}{\pi(x_H + x_k)}.$$

Для электромашинного генератора:

$$\rho_s \dot{M}_1 = -(\rho'_{s1} - js_1) \dot{M}_1 + \rho'_{s1} \dot{N}_1; \rho_r \dot{N}_1 = -(\rho'_{r1} + j) \dot{N}_1 + \rho'_{r1} \mu_{c1} \dot{M}_1 + \rho_{r1} \dot{U}_{r1};$$

$$\rho_s \dot{M}_2 = -(\rho'_{s2} - js_2) \dot{M}_2 + \rho'_{s2} \dot{N}_2; \rho_r \dot{N}_2 = -(\rho'_{r2} + j) \dot{N}_2 + \rho'_{r2} \mu_{c2} \dot{M}_2 + \rho_{r2} \dot{U}_{r2};$$

Токи генератора:

$$\dot{i}_{s1} = \frac{\dot{M}_1 - \dot{N}_1}{(1 - \mu_{c1})(x_{d1} + x_1)}; \dot{i}_{s2} = \frac{\dot{M}_2 - \dot{N}_2}{(1 - \mu_{c2})(x_{d2} + x_2)}; \dot{i}_{r1} = \frac{\dot{N}_1 - \mu_{c1} \dot{M}_1}{1 - \mu_{c1}}; \dot{i}_{r2} = \frac{\dot{N}_2 - \mu_{c2} \dot{M}_2}{1 - \mu_{c2}},$$

где

$$\rho_{s1} = \frac{r_{s1} + r_1}{x_{d1} + x_1}; \rho_{s2} = \frac{r_{s2} + r_2}{x_{d2} + x_2}; \rho_{r1} = \frac{r_{r1}}{x_{r1}}; \rho_{r2} = \frac{r_{r2}}{x_{r2}}; \mu_{c1} = \frac{x_{a1}^2}{(x_{d1} + x_1)x_{r1}};$$

$$\mu_{c2} = \frac{x_{a2}^2}{(x_{d2} + x_2)x_{r2}}; \rho'_{s1} = \frac{\rho_{s1}}{1 - \mu_{c1}}; \rho'_{s2} = \frac{\rho_{s2}}{1 - \mu_{c2}}; \rho'_{r1} = \frac{\rho_{r1}}{1 - \mu_{c1}}; \rho'_{r2} = \frac{\rho_{r2}}{1 - \mu_{c2}}; s_1 = 1 - k; s_2 = 1 + k;$$

\dot{e}_r – неискаженная ЭДС генератора;

x_{a1}, x_{a2} – индуктивные сопротивления реакции якоря машин генератора;

x_{d1}, x_{d2} – синхронные индуктивные сопротивления;

x_{r1}, x_{r2} – индуктивные сопротивления обмоток возбуждения;

r_{s1}, r_{s2} – активные сопротивления статорных обмоток;

r_{r1}, r_{r2} – активные сопротивления обмоток ротора;

s_1, s_2 – скольжения асинхронных машин.

Начальные условия при $t = 0$:

$$\dot{i}_H = 0; \dot{M}_1 = \frac{\dot{i}_{r10}}{s_1}; \dot{N}_1 = \dot{i}_{r10}; \dot{M}_2 = \frac{\dot{i}_{r20}}{s_2}; \dot{N}_2 = \dot{i}_{r20}.$$

Векторы неискаженных ЭДС, которыми представлен генератор для вентильного преобразователя, определяются для каждой машины в любой момент времени как:

$$\dot{e}_1 = \dot{\psi}_{r1}; \dot{e}_2 = \dot{\psi}_{r2}.$$

Тогда вектор неискаженной ЭДС за индуктивным сопротивлением коммутации определится как сумма векторов ЭДС машин

$$\dot{e} = \dot{e}_1 + \dot{e}_2.$$

Анализ результатов расчета показал, что модуляционные процессы в генераторе при установившейся симметричной нагрузке источника отсутствуют, а параметры эквивалентной нагрузки генератора изменяются только во время переходного процесса в цепи нагрузки вентильного преобразователя.

На осциллограммах (рисунок 2) приведены экспериментальные кривые изменения во времени мгновенных значений выходного напряжения u_H и тока i_H активно-индуктивной нагрузки источника, а также напряжений u_1, u_2 и эквивалентных токов $i_{1\varnothing}, i_{2\varnothing}$ машин при активно-индуктивной нагрузке.

Результаты экспериментальных исследований [4] показали, что использование предла-

гаемых источников электропитания в автономных энергосистемах позволяет формировать синусоидальное напряжение на нагрузке.

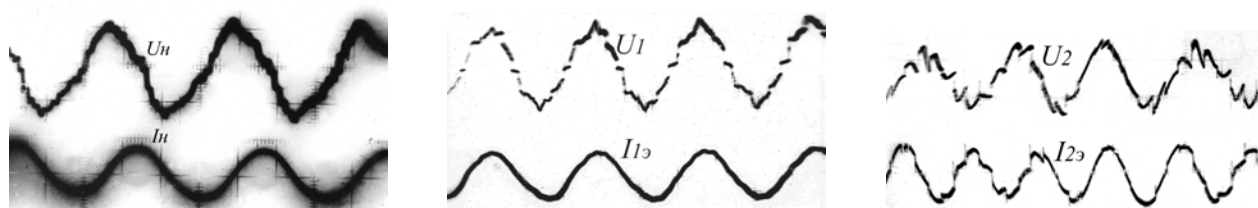


Рисунок 2 – Осциллограммы напряжений и токов источника

Проведенные исследования могут быть базой для разработки рекомендаций к проектированию и созданию трехфазного автономного источника стабильной частоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Патент на полезную модель № 82076 МПК Н 02М 5/48, H02K 29/00. Машинно-вентильный источник трехфазного напряжения стабильной частоты / В.М. Кузьмин, И.Н. Дубровский, А.И. Якушкин (Россия).- № 2008120578/22; заявл. 23.05.2008; опубл. 10.04.2009, Бюл. № 10. -2 с.

2 Кузьмин, В.М. Автономный источник с электромашинным формированием кривой выходного напряжения: Автореф. дис. на соискание учёной степени канд. техн. наук / Томский политехнический институт. Томск, 1981. -20 с.

3 Грабовецкий, Г.В., Непосредственные преобразователи частоты с естественной коммутацией для электромеханических систем. / Г.В. Грабовецкий, О.Г. Куклин, С.А. Харитонов // Ч.1. Учеб. пособие. Новосибирск: Издательство Новосибирского государственного технического университета, 1997. -60 с.

4 Дубровский, И.Н. Экспериментальные исследования источника переменного напряжения стабильной частоты / И.Н. Дубровский, В.М. Кузьмин // Новые технологии и материалы. Инновации и инвестиции в промышленности Дальнего Востока. Материалы докладов Всероссийской научно-технической конференции 15-19 окт. 2007 г, Ч.1 / Редкол. А.М. Шпилев и др. -Комсомольск-на-Амуре: ГОУ ВПО «КНАГТУ», 2007. -С. 91-93.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автономный источник; стабильная частота

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кузьмин Вячеслав Матвеевич, докт. техн. наук, профессор ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»

Дубровский Игорь Николаевич, аспирант ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

681013, г Комсомольск-на-Амуре, проспект Ленина 27, ГОУ ВПО «Комсомольский-на-Амуре ГТУ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА СФОЦ 70

ГОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина

EXPERIMENTAL RESEARCHES AUTOMATED ELECTRIC KALARIFERY DEVICE OF TYPE SFOC 70

«Irkutsk state transport university»

V.V. Sidorov, E.M. Lytkina

On the basis of minidepot Irkutsk state transport university are spent experimental search which results have shown that at different laws regulation speed of heating of isolation contradicts laws teplomassoobmena.

На базе мини-депо ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС» проведены экспериментальные исследования, результаты которых показали, что при разных законах регулирования скорость нагрева изоляции противоречит законам теплообмена.

Длительная и безаварийная работа электроподвижного состава (ЭПС) во многом определяет эффективность железнодорожного транспорта. Большую роль при этом играют тяговые двигатели (ТД). Это объясняется тем, что выход из строя тяговых электрических машин приводит к нарушению взаимосвязанных технологических циклов на железнодорожном транспорте.

Наиболее важным и уязвимым звеном ТД являются их обмотки. В свою очередь в обмотках наиболее ненадежным элементом является их изоляция. В процессе эксплуатации ЭПС изоляция ТД увлажняется, что приводит к резкому снижению ее электрической прочности и требует удаления влаги.

Для сушки увлажненной изоляции обмоток ТЭД рекомендуется применять горячий воздух от мобильных и стационарных калориферных установок. Однако существующие инструкции, рекомендации и руководства по выбору режимов сушки увлажненной изоляции тяговых электродвигателей предлагают в начале процесса сушки применять низкие температуры нагрева, а в конце процесса сушки температуру нагрева доводить до значений предельно допустимых для данного класса изоляции.

С целью определения оптимального режима сушки сотрудниками кафедры ЭПС на базе мини-депо ИрГУПС проводятся экспериментальные исследования процессов тепломассообмена в процессе удаления влаги из изоляции обмоток ТД электровозов и электропоездов.

Экспериментальный стенд представляет собой электрокалориферную установку СФОЦ 70 и комплект измерительных приборов: К-506, МІС 2500, а также инфракрасный термометр ІR-350.

В настоящее время фирмой ИРТРАНС освоено серийное производство электрокалориферных сушильных установок типа СФОЦ для сушки увлажнённой изоляции ТД электровозов и электропоездов.

Исследуемая установка СФОЦ 70 (рисунок 1) состоит из электрокалорифера, вентилятора с регулирующей заслонкой на входе воздуха, переходных патрубков (входного и выходного), рамы и пульта автоматического управления.

В корпусе электрокалорифера (1) установлены 36 трубчатых электронагревателей (ТЭНов), образующих коридорный пучок. К всасывающему патрубку вентилятора присоединена обечайка с заслонкой поворотного типа шибер (2) для изменения производительности по воздуху. Нагнетающий патрубок вентилятора соединен гибким рукавом с входным патрубком электрокалорифера (3).

На выходном патрубке (4) установлены два переходника (5) для подсоединения гибких рукавов.

Электрооборудование установки СФОЦ 70 состоит из электрокалорифера, электровентилятора и системы управления, смонтированной в пульте управления. На лицевой стороне пульта установлен автоматический программный регулятор температуры Термодат-14, который по заданной программе нагрева осуществляет пропорционально - интегрально - дифференциальное (ПИД) регулирование температуры на выходе из электрокалорифера, управляя ТЭНами с помощью силовых бесконтактных симисторных ключей. Тем самым

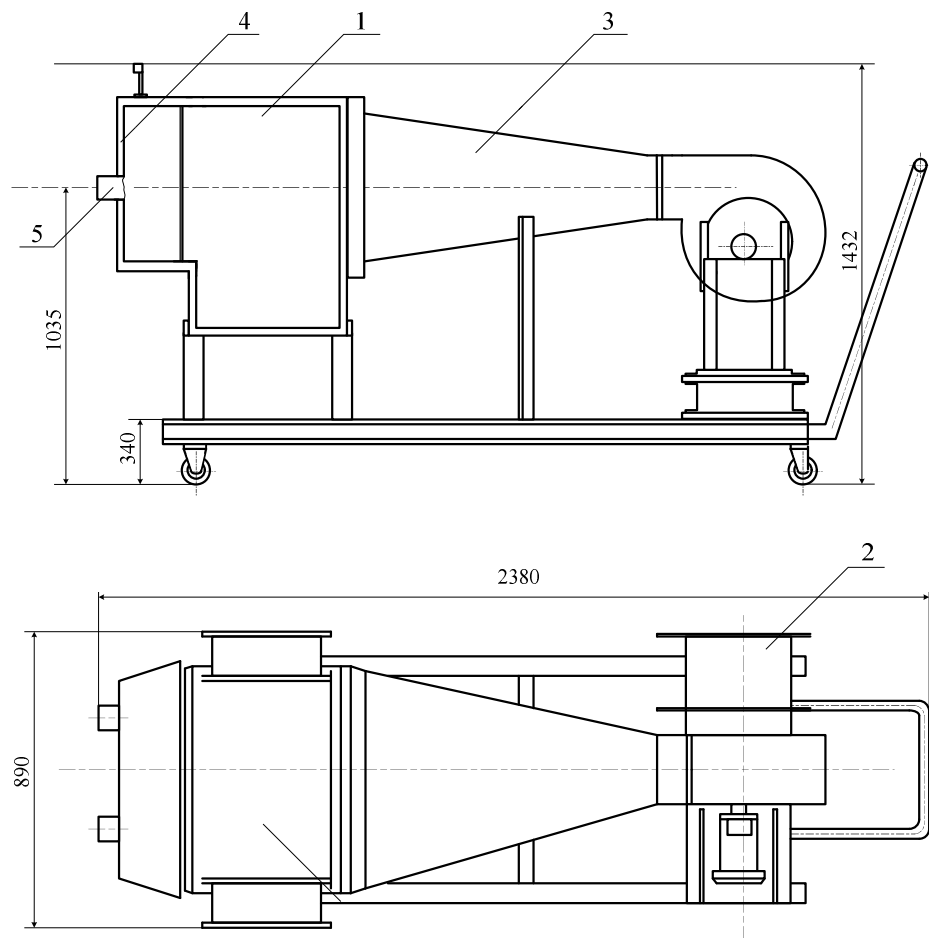


Рисунок 1 – Электрокалориферная установка для сушки изоляции тяговых электрических машин электропоездов

осуществляется мягкое «безударное» управление электронагревателями.

Температура определялась с помощью программатора Термодат 14 и инфракрасного термометра IR-350, для определения токов, напряжения и мощности использовался комплект измерительный К506.

Эксперимент состоял из трех серий. В первой серии исследовался «пропорционально-интегрально-дифференциальный» (ПИД) закон регулирования, во второй – «двухпозиционный», в третьей – «пропорциональный+константа».

Результаты опыта при ПИД – регулировании, состоящего из трех экспериментов, приведен на рисунке 2.

Проанализировав результаты проведенных опытов всех серий можно сделать следующие выводы:

1 При ПИД законе регулирования мощность, ток и напряжение возрастает плавно с течением времени и при достижении уставки, начинает плавно снижаться;

2 При двухпозиционном законе регулирования мощность, напряжение и ток установки нарастает ступенчато и при достижении температуры уставки, напряжение ступенчато начинает снижаться, а мощность и ток резко падает до нуля;

3 При «пропорциональный + константа» законе регулирования нарастание мощности, напряжения и тока происходит так же, как и при двухпозиционном режиме регулирования. Так же оператором устанавливается гистерезис температуры и при достижении температуры уставки с учетом гистерезиса мощность, напряжение и ток установки падает до нуля.

Эксперимент показал, все три режима автоматического управления в процессах сушки увлажненной изоляции обмоток ТД электровозов и электропоездов не обеспечивают ресурсосберегающие методы управления энергоподводом. В этой связи была поставлена задача по разработке перспективных алгоритмов и созданию на основе их автоматизированных ресурсосберегающих систем в технологиях сушки увлажненной изоляции обмоток ТД [1, 2].

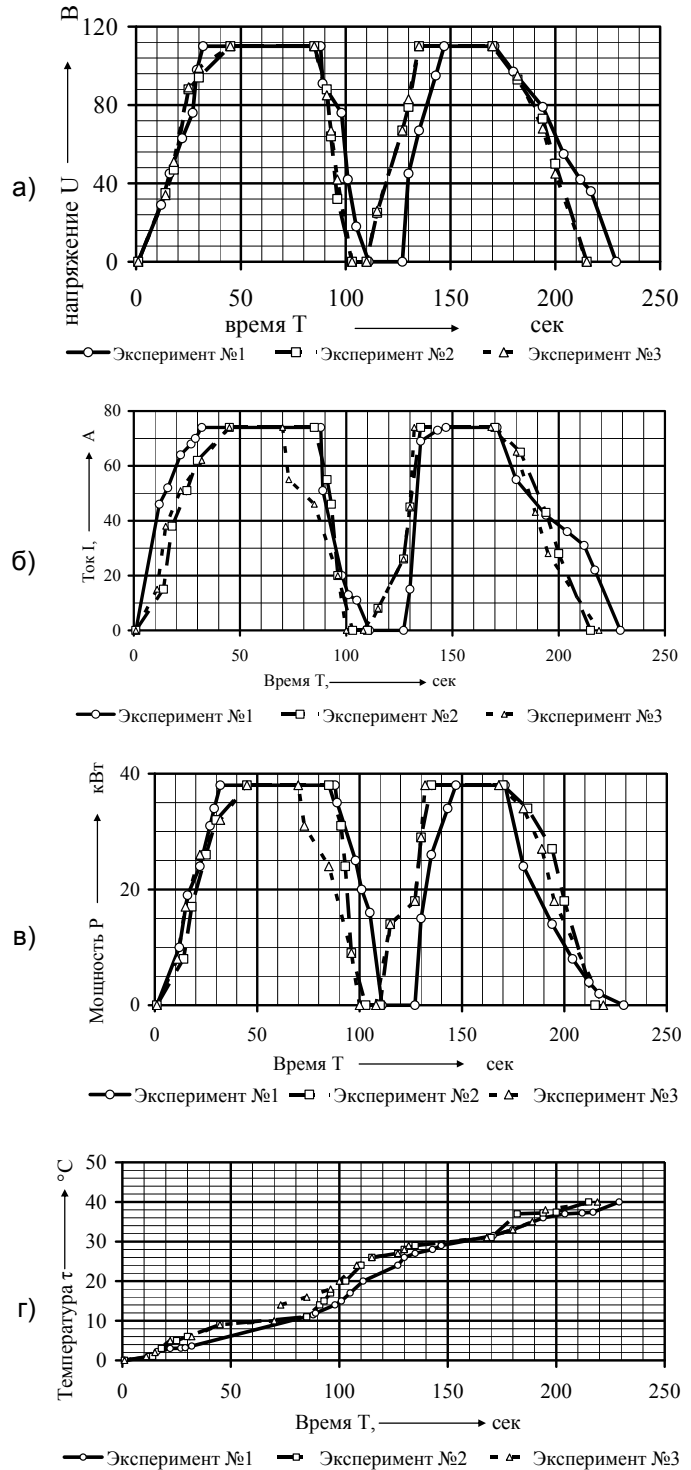


Рисунок 2 – Результаты экспериментальных данных электрокалориферной установки СФОЦ 70 для ПИД закона регулирования. Зависимости: а)-напряжения; б)-тока; в)-мощности; г)-температуры от времени проведения эксперимента

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Новый метод сушки увлажненной изоляции обмоток ТД / А.М. Худоногов, Д.В. Коноваленко, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина // Развитие транспортной инфраструктуры – основа роста

экономики забайкальского края: материалы междунар. науч.-практ. конф., 1-4 окт. 2008 г., Чита.

2 Худоногов, А.М. Теория тепломассообмена как основа автоматизации управления ресурсосберегающими методами энергоподвода в процессах сушки изоляции тяговых электродвигателей электроподвижного состава / А.М. Худоногов, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина // Науч. пробл. трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2009. -№1. -С. 355-359.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: исследования, скорость нагрева изоляции

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сидоров Василий Владимирович, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

Лыткина Екатерина Михайловна, аспирант ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г. Иркутск, ул. Чернышевского, 15, ГОУ ВПО «Иркутский ГУПС»

ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ЗАО «Центр энергетических исследований»

**Б.В. Палагушкин, Л.В. Садовская, Ю.В. Демин,
Е.Г. Хромов, А.И. Мозиллов, А.В. Судник**

OPERATIVE FORECASTING A POWER CONSUMPTION WITH USE OF NEURAL NETWORKS

«Novosibirsk state academy of water transport»

«The centre of power researches»

B.V. Palagushkin, L.V. Sadovskaya, Yu.V. Dyomin, E.G. Hromov, A.I. Mozilov, A.V. Sudnik

Use of neural networks in electric power industry allows to create easily adapting for changing conditions of the modern market of system of enough exact forecasting and an operational administration a power consumption both the large enterprise, and the power marketing company.

Использование нейронных сетей в электроэнергетике позволяет создать легко адаптирующиеся к изменяющимся условиям современного рынка системы достаточно точного прогнозирования и оперативного управления электропотреблением как крупного предприятия, так и энергосбытовой компании.

Рассмотрены вопросы оперативное электропотребление с использованием нейронных сетей на базе данных, получаемых от АИИС КУЭ. Существующие условия функционирования рынков требуют использования высокоэффективных систем прогнозирования, основанных на современных программных средствах, которые обеспечивают создание удобных для конечного пользователя (и относительно дешевых) имитационных моделей энергопотребления субъектов Независимого оптового рынка электроэнергии и мощности (НОРЭМ), как промышленных предприятий, так и гарантирующих поставщиков. Такие системы отличаются большой гибкостью и возможностью тонкой настройки с учетом потребностей конкретного предприятия.

Очевидно, что при планировании электропотребления, формировании балансов электроэнергии необходимо иметь имитационную модель энергопотоков предприятия. Прогнозирование электропотребление предприятия основывается на оперативном расчете сценариев работы компании, проверки тех или иных решений, анализе альтернативных стратегий и многом другом. Минимизация отклонений от торгового графика электропотребления и снижение затрат по покупке электроэнергии требует решения классических задач оптимизации загрузки технологического основного и вспомогательного оборудования, формирования технологических карт, координации графиков расхода электроэнергии по подразделениям и т.п.

По мере развития алгоритмов прогнозирования нагрузки и решения оперативных задач в электроэнергетике большое значение приобрели характеристики практической реализации методов краткосрочного прогнозирования. К этим свойствам относятся – адаптивность, рекурсивность, экономичность и робастность. Не существует единственного наиболее предпочтительного метода для оперативного прогнозирования электрической нагрузки. Наиболее эффективными становятся методы имитационного моделирования, которые привлекательны для специалистов энергосбытовых компаний и крупных потребителей электроэнергии своей логикой и которые хорошо согласуются с представлениями о методах решения задач прогнозирования [1-7].

Нейронные сети являются исключительно мощным методом имитации процессов и явлений, позволяющим воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Такие сети по

своей природе являются нелинейными, в то время как на протяжении многих лет для построения моделей использовался линейный подход. Другая особенность нейронных сетей связана с тем, что они используют механизм обучения. Исследователь подбирает представительные данные, а затем запускает алгоритм обучения нейронной сети, который автоматически настраивает ее параметры. При этом от исследователя, конечно, требуется какой-то набор эвристических знаний о том, как следует отбирать и подготавливать данные, выбирать нужную архитектуру сети и интерпретировать результаты, однако уровень знаний, необходимый для успешного применения нейронных сетей, гораздо скромнее, чем при использовании традиционных методов. Если к этому прибавить изменяющийся уровень и характер электропотребления, связанные со многими факторами, например, метеофакторами; увеличением, перепрофилированием, спадом или ликвидацией производства, а также изменяющимися условиями функционирования НОРЭМ.

В моделях прогнозирования используются различные математические методы, наиболее востребованным из них является методы регрессионного анализа. Поэтому для оперативного прогнозирования электропотребления используем нейронную сеть GRNN (Generalized Regression Neural Network), предназначенную для решения задач обобщенной регрессии, анализа временных рядов и аппроксимации функции. Характерной особенностью этих сетей является очень высокая скорость их обучения. В качестве среды моделирования используется пакет MatLab.

Архитектура сети GRNN показана на рисунке 1. Она аналогична архитектуре радиальной базисной сети, но отличается структурой второго слоя, в котором используется блок normprod для вычисления нормированного скалярного произведения строки массива весов $LW^{2,1}$ и вектора входа a^1 в соответствии со следующим соотношением

$$n^2 = \frac{LW^{2,1} a^1}{sum(a^1)} \quad (1)$$

Первый слой – это радиальный базисный слой с числом нейронов, равным числу элементов обучающего множества. Второй слой – это линейный слой с числом нейронов, также равным числу элементов обучающего множества. Входными аргументами функции newgrnn являются массивы входных векторов и выходных целей, а также параметр влияния SPREAD. Если параметр влияния SPREAD мал, то радиальная базисная функция характеризуется резким спадом и диапазон входных значений, на который реагируют нейроны скрытого слоя, оказывается весьма малым. С увеличением параметра SPREAD наклон радиальной базисной функции становится более гладким, и в этом случае уже несколько нейронов реагируют на значения вектора входа. Тогда на выходе сети формируется вектор, соответствующий среднему нескольких целевых векторов, соответствующих входным векторам обучающего множества, близких к данному вектору входа. Чем больше значение параметра SPREAD, тем большее число нейронов участвуют в формировании среднего значения, и в итоге функция, генерируемая сетью, становится более гладкой.

Исходными данными для моделирования оперативного прогноза суточного электропотребления являются данные по торговым графикам и фактическим графикам электропотребления энергосбытовой компании

г. Владимира. Основной целью прогноза и его успешности будем считать выполнение целевой функции работы на НОРЭМ, определенной в первой главе, а именно: отклонение прогнозируемого потребления от фактического не должно превышать 2% в течение 20% времени (то есть не более 4 ч 45 мин.).

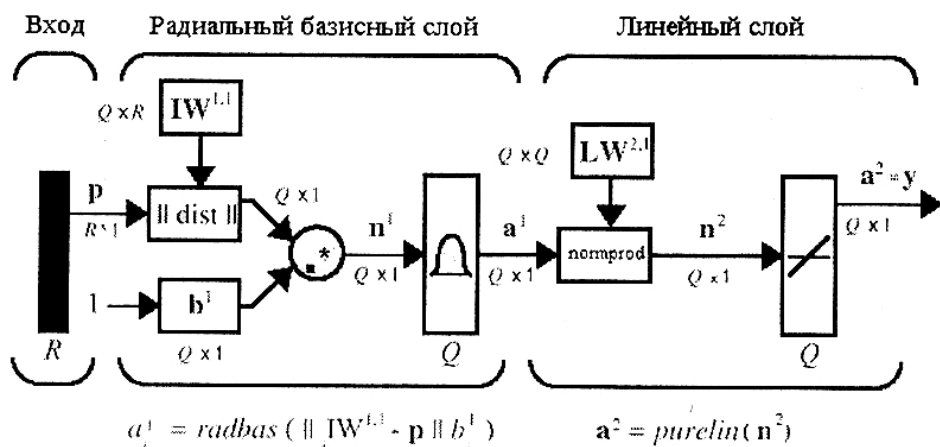


Рисунок 1 – Архитектура нейронной сети GRNN

На рисунках 2 и 3 приведены исходные данные (15 рабочих дней марта 2009 г.), а также суточные графики фактического электропотребления, график средних значений и стандартных отклонений, рассчитанных на основании принятой выборки.

Анализ принятой выборки показал, что изменчивость суточного графика наиболее существенна на временном интервале от 9 ч до 23 ч. Кроме этого, заметна тенденция к снижению электропотребления в целом, что во многом связано с переходом от зимних месяцев к летним, а также с общим спадом в экономике страны.

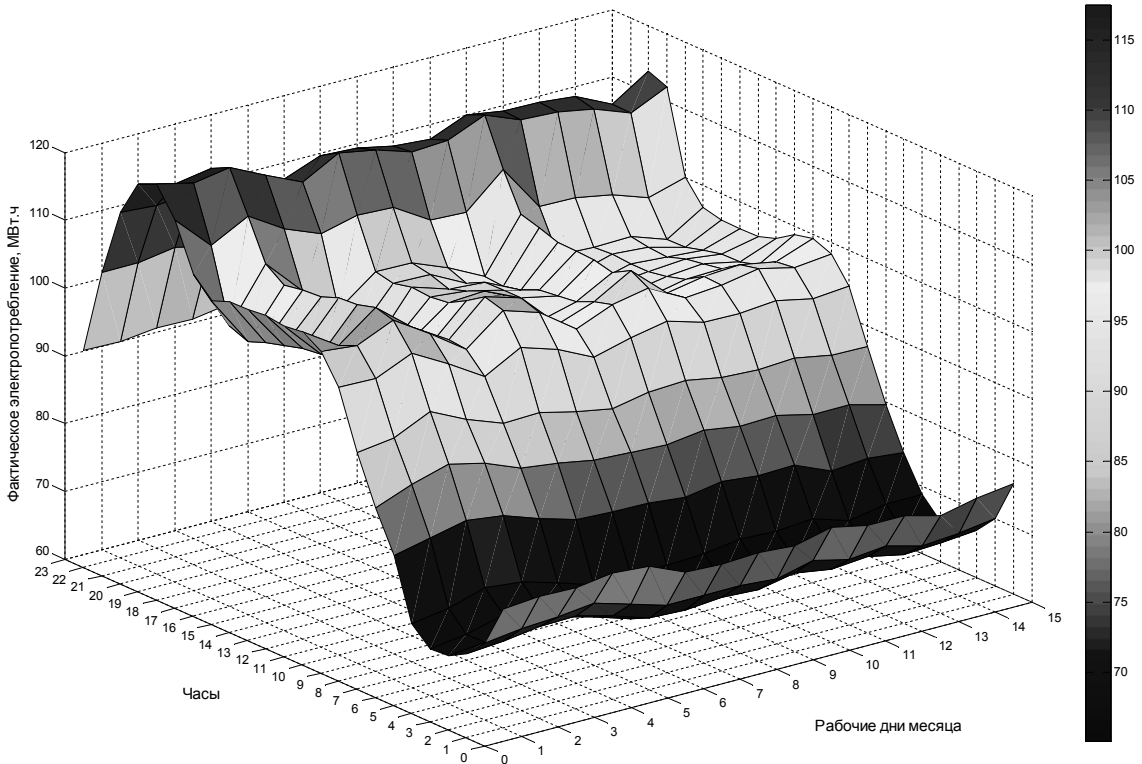


Рисунок 2 – Суточные графики фактического электропотребления за 15 рабочих дней

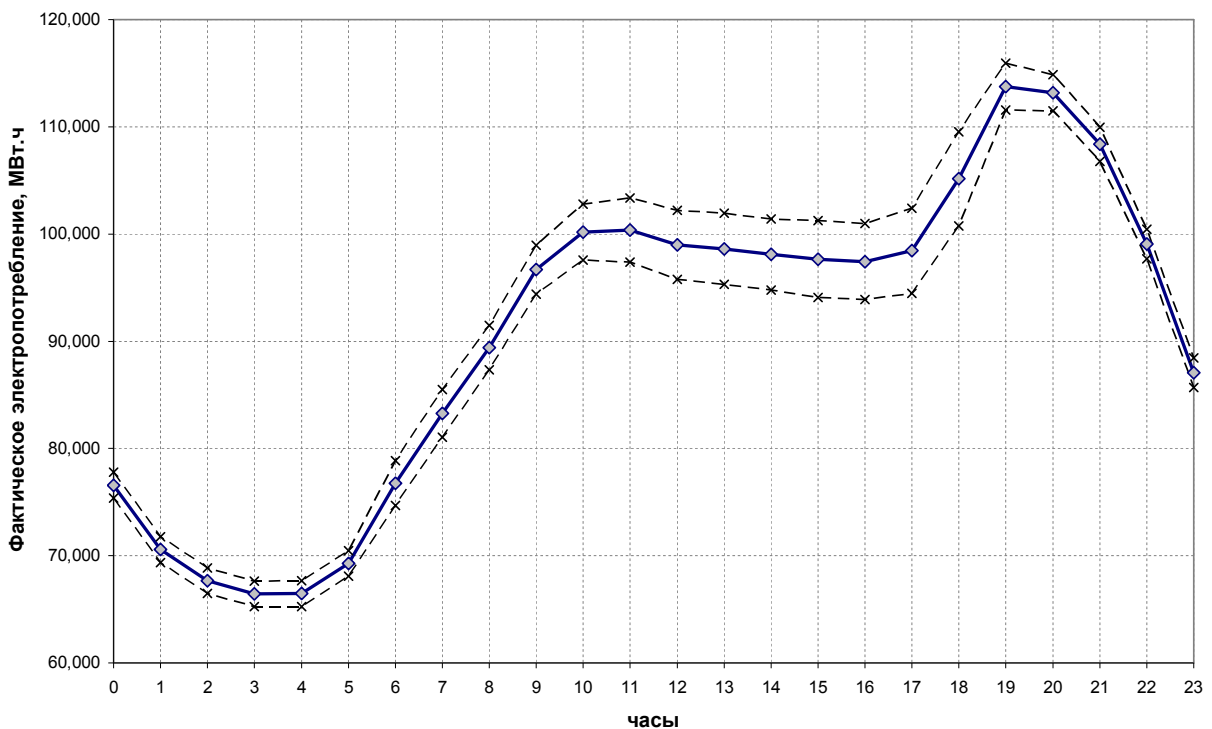


Рисунок 3 – Суточный график среднего значения фактического электропотребления и стандартных отклонений за 15 рабочих дней

Прогнозирование выполнялось по двум следующим сценариям:

1 На базе выборки 15 рабочих дней или предыдущих 3 недель:

– нейронной сетью на сутки вперед, при этом за стартовую расчетную точку (9.00 ч) принималось спрогнозированное с использованием степенной функции аппроксимации значений 9.00 часов предыдущих 15 рабочих дней;

– прогноз на сутки вперед на базе метода скользящего среднего, в качестве альтернативного метода прогноза;

– оперативный прогноз нейронной сетью на 1 и 2 часа вперед на базе фактических данных предыстории (15 рабочих дней) и текущего дня.

2 На базе выборки для фиксированного дня недели (вторник) за предыдущие 3 недели аналогично 1-му сценарию.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что нейронная сеть с 15-ю нейронами в скрытом слое для каждого исследуемого часа позволяет с высокой точностью прогнозировать электропотребление на ограниченном объеме входной выборки – часовые значения электропотребления с глубиной 15 предшествующих рабочих дней. Стоит отметить, что торговый график сам является прогнозным и определяется коммерческим оператором для «Рынка на сутки вперед». Полученные нейронной сетью прогнозные графики и торговый график совпадают, и отклонения от торгового графика не превышают 2% на всем временном интервале по обоим сценариям прогнозирования. Отклонение фактического графика от торгового графика в среднем составляет 3,8%, от прогноза, составленного нейронной сетью, на 2,9% для первого сценария и на 3,6% для второго. Из полученных данных можно сделать вывод, что хотя отклонения прогноза нейронной сети выше 2% целевой функции работы на НОРЭМ, но все же нейронная сеть более эффективно выполняет прогноз, чем принятая в настоящее время модель по формированию торговых графиков.

Оперативный прогноз электропотребления на 1 и 2 ч вперед (выборка 15 рабочих дней). При оперативном прогнозировании на 1 и 2 часа вперед данные электропотребления, полученные по первому сценарию более качественно следуют фактическому графику электропотребления, чем данные, полученные по второму сценарию. При этом следует отметить, что при обоих сценариях отклонения прогноза от последующего фактического электропотребления более чем на 2% составляло от 0 до 3 ч. Прогнозные графики, полученные по выборке предшествующих 15 рабочих дней, дают более точный прогноз фактического потребления, так при оперативном прогнозировании на 1 ч вперед отклонение графиков не выходило за 2% и составило в среднем 0,62%, при прогнозировании на 2 ч вперед отклонение свыше 2% зарегистрировано только в одной точке (то есть 1 ч), а среднее отклонение графиков – 0,73%. Для выборке по 3 характерным дням прогноз нейронной сети несколько хуже, но и его можно признать удовлетворительным, поскольку целевая функция работы на НОРЭМ, а именно допустимое отклонение свыше 2% не должно превышать 4 ч 45 мин., выполнена: при прогнозировании на 1 ч вперед уход за границу 2% наблюдается в 2 точках (среднее отклонение графиков – 0,92%), при прогнозировании на 2 ч вперед – в 3 точках (среднее отклонение графиков – 1,21%).

Таким образом, использование нейронных сетей позволяет создавать легко адаптирующиеся к изменяющимся условиям современного рынка системы достаточно точного прогнозирования и оперативного управления электропотреблением как крупного предприятия, так и энергосбытовой компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Медведев, В.С. Нейронные сети MatLab 6 / В.С. Медведев, В.Г. Потемкин. -М.: Диалог-МИФИ, 2002. -496 с.

2 Себер, Дж. Линейный регрессивный анализ / Дж. Себер. -М.: Мир, 1980. -456 с.

3 Мещеряков, В.В. Задачи по статистике и регрессионному анализу с MATLAB / В.В. Мещеряков. -М.: Диалог-МИФИ, 2009. -448 с.

4 Методические рекомендации по оценки эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования. -М.: Информэлектро, 1994. -80 с.

5 РД 153-34.1-09.321-2002. Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС. -М.: ОРГРЭС, 2003. -70 с.

6 Зайцев, Н.Л. Экономика промышленного предприятия. Практикум: учеб. пособие / Н.Л. Зайцев. -М.: ИНФРА-М, 2001. -192 с.

7 Грузинов, В.П. Экономика предприятия: учеб. пособие / В.П. Грузинов, В.Д. Грибов // 2-е изд., перераб. и доп. -М.: Финансы и статистика, 2000. -208 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нейронные сети, оперативный прогноз, точность прогнозирования, потребление электроэнергии*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Палагушкин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Садовская Людмила Владимировна, ведущий инженер ЗАО «ЦЭИ»
Демин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Хромов Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник ЗАО «ЦЭИ»
Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, соискатель ФГОУ ВПО «НГАВТ»
Судник Анастасия Владимировна, аспирант ФГОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФГОУ ВПО «НГАВТ»
630099, г. Новосибирск, ул. Потанинская, 4, ЗАО «ЦЭИ»*

ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

ФГОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

А.Ф. Бурков, Н.Д. Крицкий

THE PROBLEMS USED OF CONTACT SWITCHBOARDS OF SHIP'S AUXILIARY ELECTRICAL DRIVES AND SOME WORKING DIRECTIONS FOR IT REMOVING THEIR DEFECTS

«Far Eastern state technical fisheries university»

A.F. Burkov, N.D. Krickiy

The main exploitation peculiarities of contact switchboards for control systems of ship's auxiliary electrical drives and main working directions for removing their defects are shown in this article.

Рассмотрены основные эксплуатационные особенности контактных коммутационных аппаратов (контакторов), входящих в системы управления электроприводов судовых вспомогательных механизмов, и основные направления работ по устранению их недостатков.

Многие электротехнические устройства, участвующие в производственных процессах, включают электрические аппараты (от латинского слова «apparatus» – прибор, приспособление, оборудование [1]). В России этот термин был распространен с 1879 г. [2] Павлом Николаевичем Яблочковым (1847-1894 гг.) [3] на электротехнические устройства того времени: коммутаторы, переключатели, реле, рубильники [2]. В современном понимании электрическими аппаратами являются «... электротехнические устройства управления потоком энергии и информации ...» [2]. Широкое применение электрические аппараты получили для управления потоком электрической энергии. В частности, во многих системах управления электроприводов используются электрические аппараты – контактные коммутационные аппараты (электромеханические контакторы и реле) и бесконтактные коммутационные аппараты (статические).

К основным достоинствам контактных коммутационных аппаратов относятся: большая перегрузочная способность по току нагрузки и управления; относительно невысокая стоимость (в пересчете на один канал управления); возможность одновременной коммутации нескольких независимых, гальванически не связанных электрических цепей с различными величинами напряжений и токов; низкое, относительно стабильное переходное сопротивление между замкнутыми контактами (по данным, приведенным в [4] менее 0,1 Ом); высокая глубина коммутации.

Недостатками контактных коммутационных аппаратов в первую очередь являются процесс дугообразования в переходных режимах при больших коммутируемых токах и низкое быстродействие.

Анализ опыта эксплуатации судовых электроприводов с регулируемой угловой скоростью электродвигателей, в состав которых входят релейно-контакторные схемы управления, позволяет сделать вывод, что самым слабым звеном большинства таких систем являются магнитные контроллеры (магнитные станции). Наибольшее число отказов приходится на контактные системы контакторов по причине образования электрической дуги в переходных режимах при коммутациях электрических цепей [5]. Прочие отказы являются нетипичными, и, как правило, носят случайный характер. Кроме снижения безотказности, уменьшения межремонтных периодов и повышения затрат на обслуживание, дугообразование ограничивает диапазон или является причиной невозможности использования данных электротехни-

ческих устройств в условиях, несовместимых с возникновением электрической дуги, вызывает дополнительные потери электроэнергии.

Вопросам ликвидации или уменьшения электрической дуги контактных коммутационных аппаратов, прежде всего контакторов, в настоящее время уделяется повышенное внимание. Можно выделить следующие основные направления, по которым ведутся работы:

- применение новых контактных материалов (металлокерамические композиции [6] и пр.);
- создание более эффективных способов гашения электрической дуги (в среде сжиженного элегаза SF_6 [7] и др.);
- разработка контактных смазок (отечественные – «Электросил», ВНИИ НП; типа 2G и 2GX английской фирмы «Electrolub» [8] и т.д.);
- усовершенствование приводных устройств (синхронные контакторы [9] и т.п.).

Первые три из перечисленных направления для контактного способа коммутации электрических цепей представляют собой полумеры, так как противодействуют не причине, а следствию, и в большинстве случаев не обеспечивают бездуговую коммутацию, а только несколько повышают электрическую износостойкость, уменьшая электрическую дугу по величине и времени горения.

Одним из вариантов усовершенствования приводных устройств при контактном способе коммутации электрических цепей является синхронный контактор, в котором размыкание главных контактов в цепях переменного тока осуществляется без возникновения электрической дуги. Вместе с тем, из-за сложности, относительно высокой стоимости и низкой надежности эти устройства не получили широкого распространения.

Развитие полупроводниковой техники привело к созданию бесконтактных коммутационных аппаратов (статических) на базе тиристоров, симисторов, транзисторов и пр. Использование полупроводниковых приборов в ключевом режиме (для включения и выключения электрических цепей) ликвидирует причины дугообразования, так как сопровождается размыканием цепей без механического разрыва, а, следовательно, без дуги. Кроме того, к основным достоинствам бесконтактных коммутационных аппаратов относятся высокое быстродействие, повышенный срок службы, относительная простота обслуживания, способность работать в пожароопасных и взрывоопасных помещениях и пр.

Основными недостатками бесконтактных коммутационных аппаратов являются: низкая перегрузочная способность по току нагрузки и управления; отсутствие возможности одновременной коммутации нескольких независимых, гальванически не связанных электрических цепей с различными величинами напряжений и токов; относительно высокое переходное сопротивление во включенном состоянии.

Стремление объединить основные достоинства контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов привело к созданию гибридных устройств, основанных на принципе комбинированной коммутации, в которых контактные коммутационные аппараты, как правило, контакторы, работают в специальных режимах. При совместном использовании контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов возможны два основных варианта взаимного включения главных контактов электромеханических аппаратов и полупроводниковых приборов – параллельное и последовательное.

В случае параллельного соединения ток во включенном состоянии устройства протекает через главные контакты электромеханических аппаратов, а в переходных режимах (при включении и выключении электрических цепей) функционируют бесконтактные коммутационные аппараты [10]. В большинстве технических решений при комбинированной параллельной коммутации практически не удается достичь бестокового расхождения контактов электромеханических аппаратов. Кроме того, для коммутации цепей необходимо такое же число полупроводниковых приборов, что и при бесконтактном способе.

При последовательном соединении главные контакты электромеханических аппаратов и силовые модули бесконтактных аппаратов включаются последовательно, и во включенном состоянии аппаратов ток нагрузки протекает через главные контакты электромеханических аппаратов и силовые модули бесконтактных аппаратов [11].

Выводы. Основным недостатком контактных коммутационных аппаратов (контакторов), входящий в системы управления электроприводов судовых вспомогательных механизмов, является обгорание главных контактов по причине образования электрической дуги при отключении, а в ряде случаев и при включении, электрических цепей.

Из описанных направлений работ по ликвидации или уменьшению электрической дуги

контактных коммутационных аппаратов (контакторов), для эксплуатируемых электроприводов судовых вспомогательных механизмов в настоящее время привлекательным является совместное использование контактных и бесконтактных коммутационных аппаратов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Словарь иностранных слов / под ред. И.В. Лехина, Ф.Н. Петрова. Изд. 5-е. -М.: Гос. изд-во иностранных и национальных словарей, 1955. -856 с.
 - 2 Электрические и электронные аппараты: / под ред. Ю.К. Розанова. -М.: Энергоатомиздат, 1998. -752 с.
 - 3 Люди русской науки. В 2 т. / Сост. и ред. И.В. Кузнецов; Т.2. -М.; Л.: Гос. изд-во технико-теоретической литературы, 1948. -1196 с.
 - 4 Коробков, Ю.С. Электромеханические аппараты автоматики / Ю.С. Коробков, В.Д. Флора. -М.: Энергоатомиздат, 1991. -344 с.
 - 5 Повышение надежности электроприводов грузовых лебедок судов типа п/з «А. Захаров» путем их реконструкции при капитальном ремонте. Отчет о НИР (промежуточ.): 23-84. №ГР 01840058812. -Инв. №0285.0052996. / Дальневост. высш. инж. морск. уч-ще им. адм. Г.И. Невельского; рук. Осокин Б.В.; исп.: Сгребнев Н.В., Исаков А.В., Чуев Г.И., Бурков А.Ф. -Владивосток, 1985. -47 с.
 - 6 Александров, Г.Н. Теория электрических аппаратов / под ред. Г.Н. Александрова; В.В. Борисов [и др.]. -М.: Высшая школа, 1985. -312 с.
 - 7 Александров, Г.Н. Проектирование электрических аппаратов / под ред. Г.Н. Александрова; В.В. Борисов [и др.]. -Л.: Энергоатомиздат, 1985. -448 с.
 - 8 Филимонов, В.Д. Смазки для продления срока службы контактов в судовом электрооборудовании / В.Д. Филимонов, Е.А. Калязин, Ю.Е. Головин // Морской транспорт; сер. Техническая эксплуатация флота. -М.: ЦБНТИ. -1981. -Вып.2 (506). -С. 1-11.
 - 9 Таев, И.С. Электрические аппараты. Общая теория / И.С. Таев. -М.: Энергия, 1977. -272 с.
 - 10 Могилевский, Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / Г.В. Могилевский. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -233 с.
 - 11 А.с. (патент) 1504678 СССР, МКИЗ Н 01 Н 9/30. Устройство для бездуговой коммутации цепей переменного тока / Б.В. Осокин, А.Ф. Бурков, Н.В. Сгребнев, А.В. Исаков, Г.И. Чуев. -№4174279/24-07; заявл. 03.12.86; опубл. 30.08.89, Бюл. №32. -С. 221.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** контактные коммутационные аппараты, электропривод, пути решения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»
Крицкий Николай Дмитриевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б, ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

ФГОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

А.Ф. Бурков

ANALYSIS OF MATHEMATICAL MODELS FOR ANALYTICAL RESEARCHES OF THE WORKING CONDITIONS SHIP'S AUXILIARY ELECTRICAL DRIVES

«Far Eastern state technical fisheries university»
A.F. Burkov

In this article are shown some mathematical models for analytical researches of the different working conditions ship's auxiliary electrical drives.

Рассмотрены математические модели для аналитических исследований различных режимов работы электроприводов судовых вспомогательных механизмов.

Исходя из большого многообразия систем управления (СУ) электроприводов (ЭП) судовых вспомогательных механизмов, определяемого их функциональным назначением, актуальным является решение вопроса о целесообразности использования для аналитических исследований режимов работы электроприводов судовых вспомогательных механизмов раз-

личных математических моделей.

Одним из аналитических подходов к исследованию электромагнитных процессов в ЭП судовых механизмов, включающих в качестве электромеханических преобразователей трехфазные асинхронные двигатели (АД), управляемые, в частности, СУ с силовыми полупроводниковыми приборами (СПП), относится метод гармонического анализа [1-3]. Учитывая относительную громоздкость расчетов, ниже в качестве примера рассматривается обобщенный метод исследования электромагнитных процессов трехфазной системы «силовой модуль (СМ) – активно-индуктивная (RL) нагрузка» («СМ-RL») при помощи средств вычислительной техники, предложенный в [2], в основу которого положены выводы, приведенные в [3].

Поскольку на закон изменения тока во времени влияет не только приложенное к нагрузке напряжение, но и электромагнитные процессы в ней, выходные характеристики СМ оказываются зависящими от характера нагрузки. АД в общем случае является относительно сложной нагрузкой (потребителем), содержащей кроме комплексных сопротивлений, в том числе, электродвижущие силы (ЭДС) машины.

В рассматриваемом методе для приближенного анализа АД на рабочем участке механической характеристики при

$$\omega = \omega \pm \Delta\omega_{доп}, \quad (1)$$

представляется эквивалентной RL-нагрузкой. Трехфазная схема замещения системы «СМ-RL» показана на рисунке 1.

Если СУ отпирает тиристоры VS_i без задержки ($i = 1...6$ -номера тиристоров см. рисунок 1), то

$$\alpha_i = (0... \varphi)^\circ. \quad (2)$$

В формуле (2) φ -параметр нагрузки, определяемый по формуле

$$\varphi = \text{arctg} \left(\frac{\omega \cdot L_H}{R_H} \right) \quad (3)$$

В этом случае, без учета падений напряжений на тиристорах

$$\dot{U}_A \approx \dot{E}_A; \dot{U}_B \approx \dot{E}_B; \dot{U}_C \approx \dot{E}_C. \quad (4)$$

На рисунке 2 приведена векторная диаграмма для рассматриваемого случая.

Для количественной оценки токов и напряжений RL-нагрузки необходимо иметь информацию о форме кривой выходного напряжения трехфазного СМ, которая в общем случае, например для фазы А, показана на рисунке 3.

Форма одного периода выходного напряжения СМ состоит из 12-ти характерных участков ($n = 12$). Участки 1, 3, 5, 7, 9 и 11 соответствуют одновременно включенным тиристорам в трех фазах (см. рисунок 1). На 2, 4, 8 и 10 участках одновременно включены тиристоры в двух фазах. На участках 6 и 12 включен тиристор в одной фазе.

Интервалы существования кривых напряжения (рисунок 3) зависят от углов открытия

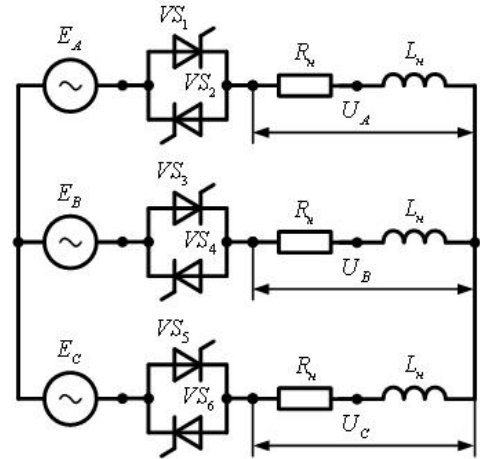


Рисунок 1 – Трехфазная схема замещения системы «СМ-RL» без нулевого провода: E_A, E_B, E_C - фазные ЭДС источника (сети); $VS_1 \dots VS_6$ - тиристоры силового модуля; R_H, L_H - активно-индуктивная нагрузка; U_A, U_B, U_C - фазные напряжения на RL-нагрузке

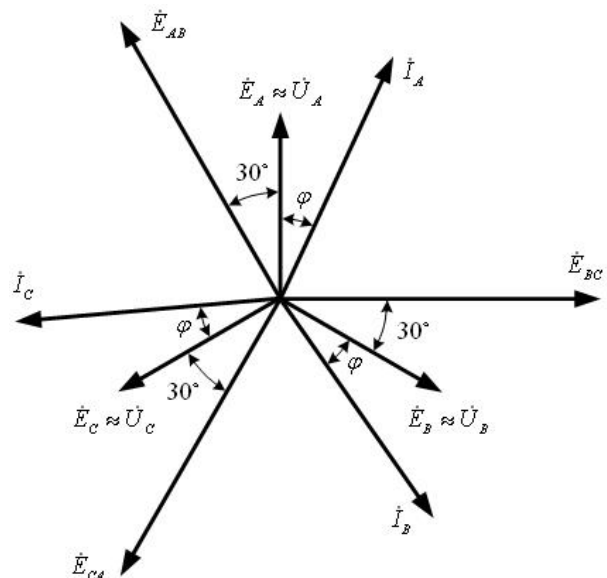


Рисунок 2 – Векторная диаграмма ЭДС, напряжений и токов системы «СМ-RL»

тиристоров α_i и от углов их проводимости λ_i , которые выражаются соотношением [3]

$$\lambda_i = \pi - \alpha_i + \delta_k, \quad (5)$$

где $\delta_k = f(\alpha, \varphi)$ – дополнительный угол проводимости тиристора при RL-нагрузке.

Фазный ток на n -м участке определяется из дифференциального уравнения для цепи фазы А с последовательным соединением R_n и L_n (см. рисунок 1)

$$u_A = A_n \cdot \sin(\omega \cdot t + \psi_n) = R_n \cdot i_n + L_n \cdot \frac{di_n}{dt}, \quad (6)$$

где A_n – коэффициент амплитуды напряжений;

ψ_n – угол между фазным и линейным напряжениями на n -м участке.

Решение уравнения (6) имеет вид

$$i_n = A_n \cdot \sin(\omega \cdot t - \varphi + \psi_n) + [i_{n0} - A_n \cdot \sin(\gamma_n - \varphi + \psi_n)] \exp\left(-\frac{\omega \cdot t - \gamma_n}{\text{tg} \varphi}\right). \quad (7)$$

где γ_n – угол, соответствующий началу участка n ;

i_{n0} – начальное значение тока на n -м участке.

Так как конечное значение тока i_{nk} равно $i_{(n+1)0}$ то начальное значение тока в общем виде на участке $n+1$ определяется как

$$i_{(n+1)0} = A_n \cdot \sin(\beta_n - \varphi + \psi_n) + [i_{(n+1)0} - A_n \cdot \sin(\gamma_n - \varphi + \psi_n)] \exp\left(-\frac{\beta_n - \gamma_n}{\text{tg} \varphi}\right), \quad (8)$$

где β_n – конечное значение угла на n -м участке.

Математическое описание работы системы «СМ-RL» нагрузка (при известных допущениях) в несимметричных режимах, например, для случаев разрыва цепей одного тиристора VS_2 (режим а), двух разнополярных тиристоров VS_2, VS_3 (режим б) и двух однополярных тиристоров VS_2, VS_4 (режим с) (см. рисунок 1) является частным случаем обобщенного метода исследований [2].

Для режима а, подставляя в (7) пределы углов проводимостей тиристоров из известных форм кривых выходного напряжения СМ, после преобразований получается следующее уравнение углов

$$\sin(\delta_1 - \varphi) \exp\left(\frac{\delta_1}{\text{tg} \varphi}\right) = \sin \varphi \exp\left(-\frac{\pi}{\text{tg} \varphi}\right). \quad (9)$$

Уравнения углов для режима б имеют вид

$$\begin{cases} \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\left(\delta_1 - \varphi - \frac{\pi}{6}\right) \exp\left(\frac{\delta_1}{\text{tg} \varphi}\right) = \sin \varphi \exp\left(-\frac{\pi}{\text{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \sin(\delta_4 - \varphi) \exp\left(\frac{\delta_4 - \pi}{\text{tg} \varphi}\right); \\ \sin(\delta_4 - \varphi) \exp\left(\frac{\delta_4}{\text{tg} \varphi}\right) = \frac{1}{2} \sin \varphi \exp\left(-\frac{2\pi}{3 \text{tg} \varphi}\right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \exp\left(-\frac{\pi}{\text{tg} \varphi}\right). \end{cases} \quad (10)$$

Соответственно уравнения углов для режима с имеют вид:

$$\begin{cases} \sin(\delta_1 - \varphi) \exp\left(\frac{\delta_1}{\text{tg} \varphi}\right) = \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \exp\left(-\frac{5\pi}{6 \text{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \sin \varphi \exp\left(-\frac{\pi}{3 \text{tg} \varphi}\right); \\ \frac{\sqrt{3}}{2} \sin\left(\delta_6 - \varphi - \frac{\pi}{6}\right) \exp\left(\frac{\delta_6}{\text{tg} \varphi}\right) = \frac{1}{2} \sin \varphi \exp\left(\frac{2\pi}{3 \text{tg} \varphi}\right) + \frac{\sqrt{3}}{2} \sin \varphi \exp\left(-\frac{7\pi}{6 \text{tg} \varphi}\right) - \frac{1}{2} \sin(\delta_1 - \varphi) \exp\left(\frac{3\delta_1 - \pi}{3 \text{tg} \varphi}\right). \end{cases} \quad (11)$$

Согласно выражениям (9)-(11), для приближенного анализа электромагнитных коммутационных процессов системы «СМ-АД» при несимметричных режимах по причине обрыва силовых цепей одного или нескольких тиристоров достаточно определять только δ_1 для режи-

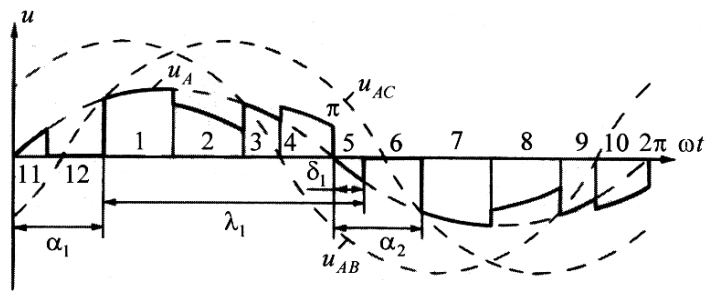


Рисунок 3 – Кривая напряжения фазы А на выходе силового модуля СМ: α_1, α_2 -углы открытия тиристоров VS_1, VS_2 ; λ_1 -угол проводимости тиристора VS_1 ; δ_1 -дополнительный угол проводимости тиристора

ма a , δ_1 и δ_4 - для режима b и δ_1 , δ_6 - для режима c .

Для определения δ_k ($k = 1 \dots 6$) используется итерационный метод [4]. Полное закрытие одного или нескольких СПП соответствует режиму

$$\lambda_i = \pi + \delta_k. \quad (12)$$

Рассчитанные δ_k для конкретного сочетания α_i и φ позволяют исследовать гармонический состав выходных характеристик СМ разложением в тригонометрический ряд Фурье [5].

При исследовании рассматриваемых режимов системы «СМ-АД» фазные величины напряжений могут быть представлены в виде

$$u_s(\omega t) = \frac{a_{0\varphi}}{2} + \sum_{v=1}^{\infty} U_{sv} \cdot \sin(v \cdot \omega t + \theta_{v\varphi}). \quad (13)$$

Коэффициент $a_{0\varphi}$ в (13) определяется по формуле

$$a_{0\varphi} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^c A_n \cdot \int_0^{\pi} \sin(\omega t + \psi_n) \cdot d(\omega t), \quad (14)$$

где c – число кусочно-непрерывных участков в периоде выходного напряжения $u_s(\omega t)$.

Амплитуда v -й гармоники фазного напряжения U_{sv} в (13) выражается как

$$U_{sv} = \sqrt{a_{v\varphi}^2 + b_{v\varphi}^2}. \quad (15)$$

Здесь:

$$a_{v\varphi} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^c A_n \cdot \int_0^{\pi} \sin(\omega t + \psi_n) \cdot \cos(v \cdot \omega t) \cdot d(\omega t); \quad (16)$$

$$b_{v\varphi} = \frac{1}{\pi} \sum_{n=1}^c A_n \cdot \int_0^{\pi} \sin(\omega t + \psi_n) \cdot \sin(v \cdot \omega t) \cdot d(\omega t). \quad (17)$$

Значение $\theta_{v\varphi}$ в (13) определяется как

$$\theta_{v\varphi} = \arctg\left(\frac{a_{v\varphi}}{b_{v\varphi}}\right). \quad (18)$$

Соответственно, фазные величины токов

$$i_s(\omega t) = I_{s0} + \sum_{v=1}^{\infty} I_{sv} \cdot \sin(v \cdot \omega t + \xi_{v\varphi}), \quad (19)$$

где I_{s0} – постоянная составляющая тока;

I_{sv} – амплитудное значение тока фазы v -й гармоники;

$\xi_{v\varphi}$ – сдвиг тока по фазе.

Постоянная составляющая тока I_{s0} в (19) определяется по формуле

$$I_{s0} = \frac{U_{s0}}{\cos \varphi}. \quad (20)$$

Амплитудное значение тока фазы v -й гармоники I_{sv} в (19) определяется по формуле

$$I_{sv} = \frac{U_{sv}}{Z_v} = \frac{U_{sv}}{\sqrt{R^2 + (v \cdot \omega L)^2}}, \quad (21)$$

где Z_v – гармоническое сопротивление фазы.

Сдвиг тока по фазе $\xi_{v\varphi}$ в (19) определяется как

$$\xi_{v\varphi} = \theta_{v\varphi} + \varphi \quad (22)$$

При помощи описанного математического аппарата можно с определенной степенью точности рассчитать и построить кривые выходных характеристик СМ (мгновенных значений напряжений и токов) при возникновении специальных режимов, связанных, например, с полным закрытием одного или нескольких тиристорov, провести анализ и оценить их количественно с целью решения вопросов необходимости специальных защит ЭП и СПП или достаточности используемых их видов для конкретных случаев специальных режимов.

Другой подход к анализу электромагнитных процессов в системах, включающих в качестве электромеханических преобразователей АД, управляемые СУ с СПП, подразумевает применение метода переменных состояния. Этот метод основан на составлении дифференциальных уравнений в матричной форме, описывающих состояние системы на каждом

интервале постоянства структуры, который соответствует реальным физическим процессам в системе [6-8].

В случае линейности АД и моделировании силовых СПП «идеальными ключами», электромагнитные процессы в системе «тиристорный коммутатор (ТК) – асинхронный двигатель (АД)» («ТК-АД») описываются системой дифференциальных уравнений для неподвижных относительно статора фазных осей А, В и С, которая в матричном виде представляется как [7]

$$\begin{pmatrix} u_s \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} (R_s + pL_{\sigma s})A_{1h} + pL_m \cdot B_{1h} \cdot \frac{3}{2} \cdot pL_m \cdot A_{2h} \\ pL_m \cdot B_{2h} + \omega_r \cdot L_m \cdot B_{3h} (R_r + pL_r)A_{3h} + \frac{2}{3} \cdot \omega_r \cdot L_r \cdot B_{4h} \end{pmatrix} \times \begin{pmatrix} i_s \\ i_r' \end{pmatrix}, \quad (23)$$

- где u_s – столбцовая матрица фазных напряжений статора;
 i_s – матрица действительных значений фазных токов статора;
 i_r' – матрица приведенных токов ротора к статорной цепи;
 R_s – активное сопротивление фаз обмоток статора АД;
 R_r – активное сопротивление фаз обмоток ротора АД;
 p – оператор дифференцирования;
 $L_{\sigma s}$ – индуктивность рассеяния обмотки статора;
 L_m – взаимная индуктивность;
 L_r – индуктивность роторной цепи;
 ω_r – угловая скорость ротора;
 A_{kh} – единичная матрица ($k = 1, 2, 3; h = 3, 2, 1$ -индекс режима работы системы);
 B_{kh} – матричные коэффициенты.

При работе системы «ТК-АД» в несимметричных режимах, исходное уравнение в форме Коши в ортогональной системе координат α, β при совмещении оси фазы А статора с ортогональной осью α имеет вид:

$$\left(\frac{p}{\omega_r} \right) X_h = C_h X_h, \quad (24)$$

- где X_h – столбцовая матрица переменных для случая h ;
 C_h – матрица параметров системы.

После определения собственных значений и векторов матрицы C_h и выделения вещественного решения для случая $h = 3$ (включены тиристоры в трех фазах) выражения мгновенных значений токов представляются в виде:

$$\left\{ \begin{array}{l} i_{s\alpha} = \sum_{i=1}^3 I_{si} \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_{si}); \\ i_{s\beta} = \sum_{i=1}^3 I_{si} \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{si}); \\ i_{r\alpha}' = \sum_{i=1}^3 I_{ri}' \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_{ri}); \\ i_{r\beta}' = \sum_{i=1}^3 I_{ri}' \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{ri}). \end{array} \right. , \quad (25)$$

- где I_{si}, I_{ri}' – амплитуды составляющих тока статора и приведенного тока ротора, соответственно;
 λ_i – декременты затухания;
 ω_i – угловые скорости;
 $\varphi_{si}, \varphi_{ri}$ – начальные фазы составляющих токов.
 При $h = 2$ (отключена фаза А):

$$\begin{cases} i_{s\alpha} = 0; \\ i_{s\beta} = \sum_{i=1}^3 I_{si} \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{si}); \\ i'_{r\alpha} = \sum_{i=1}^3 I'_{ri} \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \cos(\omega_i t + \varphi_{ri}); \\ i'_{r\beta} = \sum_{i=1}^3 I'_{ri} \cdot \exp(\lambda_i \cdot t) \cdot \sin(\omega_i t + \varphi_{ri}). \end{cases} \quad (26)$$

В случае $h = 1$ (отключены цепи питания статора АД)

$$\begin{cases} i_{s\alpha} = 0; \\ i_{s\beta} = 0; \\ i'_{r\alpha} = I'_{ri} \cdot \exp(-\alpha_r \cdot \omega_r t) \cdot \cos[(1-s)\omega_r t + \varphi_r]; \\ i'_{r\beta} = I'_{ri} \cdot \exp(-\alpha_r \cdot \omega_r t) \cdot \sin[(1-s)\omega_r t + \varphi_r]. \end{cases} \quad (27)$$

где s – скольжение АД.

Амплитудное значение приведенного тока ротора I'_r равно

$$I'_r = \sqrt{[i'_{r\alpha}(t)]^2 + [i'_{r\beta}(t)]^2}. \quad (28)$$

Начальная фаза φ_r определяется как

$$\varphi_r = \operatorname{arctg} \left[\frac{i'_{r\beta}(t)}{i'_{r\alpha}(t)} \right]. \quad (29)$$

Моменты коммутации тиристорov (границы между режимами работы) определяются решением полученных трансцендентных уравнений

$$i_{s\alpha} = 0; \quad i_{s\beta} = 0. \quad (30)$$

Значения реальных фазных токов и электромагнитных моментов в трехфазной системе координат по преобразованным в α, β осях находятся по известным выражениям [9].

Выводы. При использовании метода гармонического анализа относительная громоздкость выкладок не приводит к высокой идентификации предложенной математической модели исследуемым характеристикам главным образом по причинам замены реальной электрической машины эквивалентной RL-нагрузкой. Так как параметры схемы замещения АД зависят от целого ряда факторов, затруднителен учет фазных ЭДС и зависимости $\varphi = f(s)$. Принятые допущения недостаточно адекватно отображают форму кривой напряжения на выходе СМ, информация о которой является исходной для количественного расчета выходных характеристик. При математическом моделировании электромагнитных процессов в специальных режимах для определения δ_k используется итерационный метод. Полное закрытие одного или нескольких СПП соответствует режиму $\alpha_i = \pi + \delta_k$, что уменьшает скорость итерационного процесса, так как его сходимость зависит от степени несимметрии углов α_i и увеличивает время расчетов [4].

Метод мгновенных значений на каждом интервале постоянства структуры для анализа электромагнитных процессов в системе «ТК–АД» при несимметричных режимах является достаточно обоснованным и строгим. К его основным недостаткам следует отнести относительную сложность математического описания для исследования несимметричных режимов.

Кроме того, отсутствует аналитическое решение выражения (23) из-за необходимости нахождения моментов коммутации тиристорov решением трансцендентных уравнений, а сложность алгоритмизации делает достаточно трудоемкой задачу практического исследования электромагнитных процессов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Григо, В.М. Гармонический анализ кривых напряжения и тока простейших тиристорных преобразователей частоты с непосредственной связью при активно-индуктивной нагрузке / В.М. Григо, В.М. Ткачев, А.В. Федоров // Известия вузов. Энергетика. -1972. -№3. -С. 27-32.

2 Туганов, М.С. Обобщенный метод исследования электромагнитных процессов в системе «трехфазный тиристорный коммутатор – индуктивно-активная нагрузка» / М.С. Туганов,

- В.И. Кулешов, Ф.Х. Фархутдинов // Электричество. -1976. -№9. -С. 77-80.
- 3 Шубенко, В.А. Тиристорный асинхронный электропривод с фазовым управлением / В.А. Шубенко, И.Я. Браславский. -М.: Энергия, 1972. -200 с.
- 4 Бахвалов, Н.С. Численные методы / Н.С. Бахвалов. -М.: Наука, 1975. -632 с.
- 5 Романовский, П.И. Ряды Фурье / П.И. Романовский. -М.: Изд-во физ.-мат. лит., 1959. -304 с.
- 6 Беспалов, В.Я. Метод расчета статических характеристик асинхронных двигателей, управляемых тиристорами / В.Я. Беспалов, Л.Х. Машинян, Е.М. Соколова // Электричество. -1979. -№7. -С. 34-39.
- 7 Глазенко, Т.А. Математическая модель асинхронного электропривода с маловентильным непосредственным преобразователем частоты / Т.А. Глазенко, В.И. Хрисанов, А.А. Усольцев // Известия вузов. Электромеханика. -1983. -№4. -С. 34-40.
- 8 Chattopadhyay, A.K. State-variable steady analysis of a phase-controlled cyclo-converter induction motor drive / A.K. Chattopadhyay, J.T. Rao // IEEE Trans. on Jnd. Appl. -1979. -Vol.15. -№3. -P. 313-319.
- 9 Копылов, И.П. Электромеханические преобразователи энергии / И.П. Копылов. -М.: Энергия, 1973. -400 с.
- КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** *исследования, математическая модель, анализ, электропривод*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б, ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»*

РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТАКТОРОВ ПРИ ИХ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ БЕЗДУГОВОЙ КОММУТАЦИИ

ФГОУ ВПО «Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет»

А.Ф. Бурков, Н.Д. Крицкий

THE CALCULATION OF CONTACT SYSTEMS OF CONTACTORS WITH THEIR ARCLESS CONDITIONS WORK
«Far Eastern state technical fisheries university»
A.F. Burkov, N.D. Krickiy

This article is devoted to on version of the calculation of contact systems of contactors with their arcless conditions work.

Предложен вариант расчета контактных систем контакторов при их работе в условиях бездуговой коммутации.

При использовании контакторов в условиях бездуговой коммутации [1] возникает вопрос о целесообразности использования контакторов, рассчитанных для работы с образованием дуги. Альтернативной может быть проектирование контактных аппаратов для специальных (бездуговых) режимов работы при коммутациях электрических цепей или применение обычных однотипных электромеханических аппаратов меньшей величины с возможной корректировкой исходных данных.

Контакторы представляют собой относительно сложные электромеханические устройства, процессы в которых до настоящего времени не могут быть в достаточной степени описаны комплексом взаимосвязанных математических уравнений, позволяющим перейти к применению вычислительной техники для расчета и проектирования аппаратов в целом. При расчетах по эмпирическим формулам необходимо учитывать то, что они базируются на ограниченных экспериментальных данных и применимы с определенной степенью точности в пределах проведенных экспериментальных исследований.

Таким образом, проектирование электромеханических аппаратов (контакторов) для работы в специальных режимах представляет собой сложный процесс, требующий привлечения специалистов различных отраслей.

Наряду с проектированием, в ряде случаев представляется целесообразным определение возможностей применения в специальных режимах (в условиях бездуговой коммутации) обычных однотипных контакторов меньшей величины, выпускаемых промышленностью. Для решения этой задачи необходима методика их расчета.

Проведенный анализ работ позволяет сделать вывод о недостаточности работ по данной тематике. Отдельные вопросы функционирования контакторов при комбинированной параллельной коммутации рассмотрены в [2]. В общем случае, кроме условий работы, при

определении возможностей применения однотипных контакторов меньшей величины, к исходным следует отнести нерегулируемые данные (форму, размеры и материал контактной системы, электромагнитного механизма и других конструктивных частей, коммутационную способность, род и величину напряжения и тока цепи управления, кинематическую схему) и регулируемые данные (раствор и провал контактов контактной системы, величину воздушного зазора магнитной системы).

При определении возможностей использования контакторов в условиях бездуговой коммутации основным этапом является расчет контактных систем.

При установившемся режиме, когда коммутирующие контакты замкнуты, их переходное сопротивление R_k для одного разрыва электрической цепи равно [3].

$$R_k = R_c + R_n, \quad (1)$$

где R_c – сопротивление, обусловленное стягиванием линий тока к площадкам соприкосновения;

R_n – сопротивление посторонних слоев и пленок.

Сопротивление стягивания R_c зависит от материала контактов, числа их площадок касания n , силы нажатия контактов F_k . При расчете контактных систем используются определенные контактные модели. Наиболее распространены модели Хольма, в основу которых положена идеализированная картина контактирования двух изотропных проводников [4].

Применительно к сильноточным аппаратам более приемлема эллиптическая модель контактов (рисунок 1). Здесь круглая контактная площадка радиусом a представлена в виде бесконечно тонкого диска, через который ток входит в полубесконечную область, а эквипотенциальными и изотермическими поверхностями контактирующих элементов являются софокусные эллипсоиды.

Зависимость сопротивления R_c от силы нажатия контактов F_k неоднозначна и характеризуется видом деформации микровыступов контактируемых материалов. На основании исследований установлено, что при изменении силы контактного нажатия от F_{kmin} до F_{kmax} происходит чередование упругой и пластической деформаций [5, 6].

Общее сопротивление стягивания R_c контактной пары с числом площадок касания n равно:

$$R_c = \frac{\rho}{k_c n} \sqrt{\frac{\pi \chi}{F_k}}, \quad (2)$$

где ρ – удельное сопротивление среды;

k_c – коэффициент пропорциональности;

χ – коэффициент деформации.

Кроме сопротивления R_c в формулу (1) входит сопротивление посторонних слоев и пленок R_n , которое является функцией материала и температуры контактов, окружающей среды. Эта составляющая оказывает большее влияние на контакты, коммутирующие относительно небольшие токи.

К одной из основных причин возникновения пленок относятся окислительные процессы контактных поверхностей в окружающей среде. Величина сопротивления R_n вследствие фриттинг-процессов не является постоянной и определяется на основании опытных данных [5]. Известны отдельные работы по математическому описанию составляющих R_n [7].

Переходное сопротивление R_k в первую очередь зависит от силы контактного нажатия F_k и с достаточной точностью может быть определено по эмпирической формуле, учитывающей связь R_k с F_k [8]

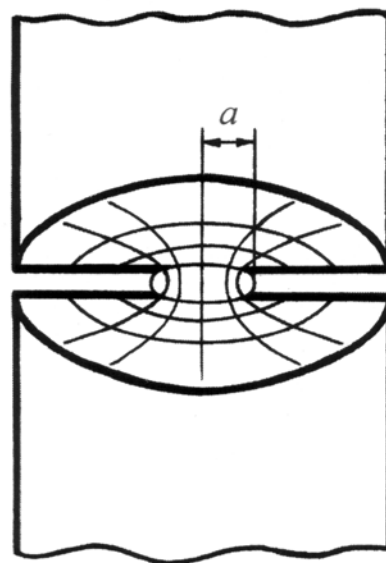


Рисунок 1 – Эллиптическая модель контактов, используемая при расчете контактных систем

$$R_k = R_0 + \frac{k_0}{(0,102 \cdot F_k)^m}, \quad (3)$$

где R_0 – составляющая сопротивления R_k (в большинстве случаев $R_0 \approx 0$);
 k_0 – коэффициент, учитывающий физические свойства и вид контактов;
 m – коэффициент формы контактов.

Наличие сопротивления R_k приводит к выделению теплоты в зоне контактирования. Нагрев замкнутых контактов характеризуется взаимодействием сложных теплофизических процессов, обусловленных внутренними источниками теплоты в отдельных контактных площадках, где происходит стягивание линий тока, и термоэлектрическими эффектами Томсона, Пельтье и Колера, возникающими из-за взаимодействия электрических и тепловых процессов [9]. При увеличении тока I нагрузки термоэлектрическими эффектами вследствие их незначительного влияния на нагрев контактной площадки можно пренебречь. Однако необходимо учитывать электродинамические силы, обусловленные стягиванием линий тока и другие явления, которые будут рассмотрены ниже.

При определении зависимостей между величинами R_k, F_k и I должна быть установлена взаимосвязь между температурой контактируемых площадок ϑ_n и падением напряжения на замкнутых контактах U_k .

Согласно рассматриваемых контактных моделей Хольма (см рисунок 1) предполагается, что контактируемые поверхности являются эквипотенциальными, изотермическими и имеют максимальную температуру ϑ_n

$$\text{grad } \vartheta_n = 0. \quad (4)$$

Разбив контакт по мере удаления от площадки касания на несколько сечений (0...3) для $R_c = \text{var}$ (рисунок 2), за нулевое значение принимается контактируемая поверхность с нулевым потенциалом u .

При протекании тока I через элементарный объем контакта, ограниченный, например, сечениями 1 и 2 (см. рисунок 2), уравнение баланса мощности без учета отвода тепла от боковых поверхностей может быть выражено как [8]

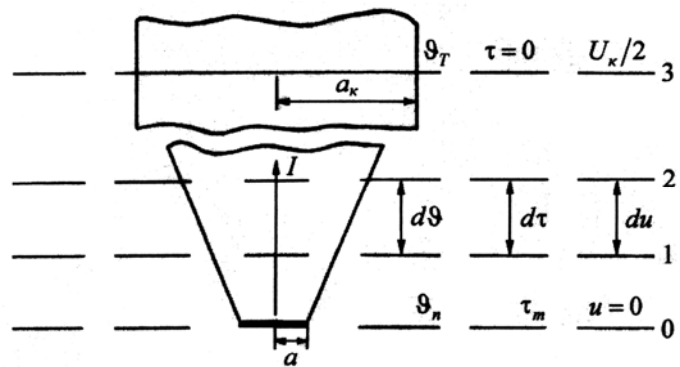


Рисунок 2 – Контактная модель для тепловых расчетов

$$\frac{(du)^2}{dR} = \frac{d\tau}{dR_T} - \frac{d(\tau + d\tau)}{d(R_T + dR_T)}. \quad (5)$$

где R, R_T – электрическое и тепловое сопротивления между сечениями 1 и 2 (см. рисунок 2), соответственно;
 τ – превышение температуры.

После некоторых преобразований интеграл выражения (5) имеет вид:

$$\int_{U_k/2}^0 u du = - \int_0^{\tau} (\lambda \rho) d\tau, \quad (6)$$

где λ – коэффициент теплопроводности.

Для эллиптической контактной модели зависимость между температурой площадки соприкосновения контактов T_n и напряжением U_k имеет вид [9]

$$T_n = \frac{T_m}{\cos\left(\frac{U_k \sqrt{K_n}}{4\lambda \cdot a \cdot R_k}\right)}, \quad (7)$$

где K_n – число Лоренца

В случае $R_k \approx R_c$ формула для определения силы контактного нажатия F_k при эллиптической модели контактов выражается следующим образом [10]

$$F_k = \frac{\chi \cdot \pi \cdot K_n \cdot I^2}{16\lambda^2 \cdot \left[\arccos\left(\frac{T_T}{T_n}\right) \right]^2} \quad (8)$$

В практике проектирования и эксплуатации контакторов установились ориентировочные границы удельных давлений, равных отношению силы F_k к номинальному току I_n [8,11].

Определение сил нажатия F_k при замкнутых контактах по приведенным выше зависимостям является необходимым, но не достаточным условием, учитываемым при расчете электромагнитных механизмов контакторов.

При пусковых токах, токах короткого замыкания и перегрузок возрастает значение U_k и, следовательно, температура T_n (7).

Кроме того, возникают значительные электродинамические силы F_δ , обусловленные стягиванием линий тока и направленные встречно силам нажатия F_k , что также приводит к увеличению температуры T_n в месте контактирования вследствие увеличения сопротивления R_k (3). Величина F_δ определяется по зависимости Двайта [12]

$$F_\delta = I_m^2 \ln\left(\frac{a_k}{a}\right) 10^{-7}, \quad (9)$$

где I_m – величина максимально возможного тока в цепи;

a_k – радиус сечения контакта до стягивания линий тока (см. рисунок 2).

Влияние на увеличение переходного сопротивления оказывают и электромагнитные силы F_m , возникающие за счет пинч-эффекта при сжатии контактной площадки магнитным полем, которые вызывают появление усилий отброса F_n , совпадающих по направлению с электродинамическими силами F_δ [8]:

$$F_n = F_m \left(\frac{k_n}{1 - k_n} \right), \quad (10)$$

где k_n – коэффициент Пуассона.

В результате значительного повышения температуры T_n , материал контактов может расплавиться и произойдет их сваривание. Процессы плавления и сваривания контактов исследуются в основном экспериментально, так как при аналитических расчетах этих явлений делаются существенные допущения, искажающие во многом исследуемые зависимости.

Кроме того, вследствие локального нагрева и взрывного испарения областей стягивания линий тока I_m , необходимо учесть возможность образования сил F_n , которые определяются как [13]

$$F_n = \frac{k_n \cdot \pi \cdot \rho \cdot \xi \cdot H_B \cdot I_m^2 \cdot t}{c \cdot m_a \cdot F_k}, \quad (11)$$

где k_n – коэффициент пропорциональности;

t – время прохождения тока I_m ;

c – теплоемкость контактного материала;

m_a – масса атома материала контактов.

Таким образом, необходимая для нормальной работы коммутирующих контактов сила полезных сопротивлений F_{nc} контакторов определяется из условия

$$F_{nc} \geq F_k(F_\Sigma), \quad (12)$$

где

$$F_\Sigma = F_\delta + F_n + F_m. \quad (13)$$

В правую часть неравенства (12) подставляется большее из двух полученных значений (F_k или F_Σ).

При

$$F_{nc} < F_k(F_\Sigma), \quad (14)$$

изменяются исходные данные аппаратов, после чего производится повторный расчет во всем диапазоне изменения хода якоря. Кроме того, в этом случае необходим расчет динамических характеристик контакторов.

Выводы. При работе контакторов в специальных режимах (в условиях бездуговой ком-

мутации) отличен подход к их расчету и проектированию. Исключается как составная часть контакторов дугогасительное устройство, переносятся на бесконтактные аппараты вопросы, связанные с коммутацией электрических цепей.

В результате проведенного анализа установлена недостаточность работ по функционированию контактных коммутационных аппаратов в условиях бездуговой коммутации при комбинированной бестоковой коммутации электрических цепей переменного тока и необходимость разработки методики расчета контакторов с целью определения возможностей использования в этих случаях контакторов меньшей величины.

Определяющим становится расчет контактных систем контакторов. При расчете контактных систем для заданного значения тока I рассчитывается необходимая сила контактного нажатия, равная большему из полученных значений силы F_k , обусловленной протеканием заданного тока I и силы F_Σ , включающей электродинамические силы F_δ , силы за счет пинч-эффекта F_n и локального нагрева F_n , обусловленной максимально допустимым током цепи I_m .

У типовых контакторов при бездуговой коммутации электрических цепей практически отсутствует весовой износ контактов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Осокин, Б.В. Бездуговая коммутация в электроприводах с многоскоростными асинхронными двигателями / Б.В. Осокин, Н.В. Сгребнев, А.В. Исаков, А.Ф. Бурков, Г.И. Чуев // Электротехника. -1989. -№5. -С. 74-76.

2 Кукеков, Г.А. Переходные процессы в контактно-тиристорных аппаратах / Г.А. Кукеков, В.Я. Фролов. -Л.: Энергоатомиздат, 1988. -168 с.

3 Буль, Б.К. Основы теории электрических аппаратов / под ред. Г.В. Буткевича; Б.К. Буль [и др.]. -М.: Высшая школа, 1970. -600 с.

4 Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм; пер. с англ. -М.: Изд-во иностранной лит., 1961. -347 с.

5 Залесский, А.М. Тепловые расчеты электрических аппаратов / А.М. Залесский, Г.А. Кукеков. -Л.: Энергия, 1967. -380 с.

6 Лысов, Н.Е. Сваривание односточечных и плоских контактов / Н.Е. Лысов // Электротехника. -1964. -№4. -С. 6-10.

7 Хомицкий, О.В. Схватывание слаботочных электрических контактов / О.В. Хомицкий // Известия вузов. Электромеханика. -1975. -№10. -С. 1116-1121.

8 Таев, И.С. Электрические аппараты. Общая теория / И.С. Таев. -М.: Энергия, 1977. -272 с.

9 Александров, Г.Н. Теория электрических аппаратов / под ред. Г.Н. Александрова; В.В. Борисов [и др.]. -М.: Высшая школа, 1985. -312 с.

10 Александров, Г.Н. Проектирование электрических аппаратов / под ред. Г.Н. Александрова; В.В. Борисов [и др.]. -Л.: Энергоатомиздат, 1985. -448 с.

11 Сахаров, П.В. Проектирование электрических аппаратов / П.В. Сахаров. -М.: Энергия, 1971. -560 с.

12 Брон, О.Б. К вопросу об электродинамических силах в контактах / О.Б. Брон // Электротехника. -1965. -№1. -С. 8-11.

13 Раховский, В.И. Физические основы коммутации электрического тока в вакууме / В.И. Раховский. -М.: Наука, 1970. -536 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: контакторы, расчет, бездуговая коммутация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

Крицкий Николай Дмитриевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б, ФГОУ ВПО «Дальрыбвтуз»

ДЛИНА ДУГИ БОЛЬШОГО ЭЛЛИПСА

ФГОУ ВПО «Морской государственный университет им. адмирала Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский, С.В. Коркишко

LENGTH OF A GREAT ELLIPSE ARC

«Maritime state university named adm. G.I. Nevel'skoi»

Yu.A. Komarovskiy, S.V. Korkishko

We obtained a formula for computing the length of an arc that is formed by intersecting the surface of the Earth ellipsoid with the plane passing through center of the ellipsoid and two points on its surface with given geodetic coordinates.

Получена формула для вычисления длины дуги эллипса, образованного пересечением поверхности земного эллипсоида плоскостью, проходящей через центр эллипсоида и две точки на его поверхности с известными геодезическими координатами.

Высокая точность современного судовождения ставит под сомнение целесообразность дальнейшего применения расчётов плавания по дуге большого круга. Широкое внедрение на судах навигационных приёмников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS и СРНС Глонасс предполагает получение геодезических координат в системах WGS-84 и СК-95, в основе которых лежат референц-эллипсоиды WGS-84 и Красовского 1940 года соответственно. Поэтому подмена этих эллипсоидов сферой для расчёта расстояний между точками на земной поверхности не только методически не верна, но и приводит к большим погрешностям. В последнее время разрабатываются различные методы решения навигационных задач с привлечением так называемого большого эллипса для замены расчётов с использованием традиционной ортодромии.

Большим эллипсом принято считать след от пересечения поверхности земного эллипсоида плоскостью, проходящей через центр эллипсоида. Данная статья посвящена выводу формулы для расчёта длины дуги большого эллипса между двумя произвольными точками на поверхности земного эллипсоида.

Пусть на поверхности земного эллипсоида расположены две точки M_1 и M_2 с геодезическими координатами (ϕ_1, λ_1) и (ϕ_2, λ_2) соответственно. Уравнение двухосного земного эллипсоида в декартовой системе координат запишется следующим образом:

$$\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} + \frac{z^2}{c^2} = 1,$$

где a, b – большая и малая полуоси эллипсоида.

Обозначим через e первый эксцентриситет меридианного эллипса. Тогда декартовы координаты точек M_1 и M_2 будут

$$M_1 = \left(\frac{a \cos \phi_1 \cos \lambda_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}}, \frac{a \cos \phi_1 \sin \lambda_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}}, \frac{a(1 - e^2) \sin \phi_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}} \right);$$

$$M_2 = \left(\frac{a \cos \phi_2 \cos \lambda_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}}, \frac{a \cos \phi_2 \sin \lambda_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}}, \frac{a(1 - e^2) \sin \phi_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}} \right).$$

Тогда уравнение плоскости $Ax + By + Cz = 0$, проходящей через центр эллипсоида и точки M_1 и M_2 на его поверхности, будет иметь вид

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ \frac{a \cos \phi_1 \cos \lambda_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}} & \frac{a \cos \phi_1 \sin \lambda_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}} & \frac{a(1 - e^2) \sin \phi_1}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_1}} \\ \frac{a \cos \phi_2 \cos \lambda_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}} & \frac{a \cos \phi_2 \sin \lambda_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}} & \frac{a(1 - e^2) \sin \phi_2}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \phi_2}} \end{vmatrix} = 0. \quad (1)$$

Поделим обе части уравнения (1) на

$$\frac{a^2}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1} \sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_2}}.$$

Тогда уравнение (1) примет следующий вид

$$\begin{vmatrix} x & y & z \\ \cos \phi_1 \cos \lambda_1 & \cos \phi_1 \sin \lambda_1 & (1-e^2) \sin \phi_1 \\ \cos \phi_2 \cos \lambda_2 & \cos \phi_2 \sin \lambda_2 & (1-e^2) \sin \phi_2 \end{vmatrix} = 0,$$

или

$$\begin{vmatrix} \cos \phi_1 \sin \lambda_1 & (1-e^2) \sin \phi_1 \\ \cos \phi_2 \sin \lambda_2 & (1-e^2) \sin \phi_2 \end{vmatrix} x - \begin{vmatrix} \cos \phi_1 \cos \lambda_1 & (1-e^2) \sin \phi_1 \\ \cos \phi_2 \cos \lambda_2 & (1-e^2) \sin \phi_2 \end{vmatrix} y + \begin{vmatrix} \cos \phi_1 \cos \lambda_1 & \cos \phi_1 \sin \lambda_1 \\ \cos \phi_2 \cos \lambda_2 & \cos \phi_2 \sin \lambda_2 \end{vmatrix} z = 0, \quad (2)$$

где $A = \begin{vmatrix} \cos \phi_1 \sin \lambda_1 & (1-e^2) \sin \phi_1 \\ \cos \phi_2 \sin \lambda_2 & (1-e^2) \sin \phi_2 \end{vmatrix} = (1-e^2)(\cos \phi_1 \sin \lambda_1 \sin \phi_2 - \cos \phi_2 \sin \lambda_2 \sin \phi_1);$

$$B = - \begin{vmatrix} \cos \phi_1 \cos \lambda_1 & (1-e^2) \sin \phi_1 \\ \cos \phi_2 \cos \lambda_2 & (1-e^2) \sin \phi_2 \end{vmatrix} = -(1-e^2)(\cos \phi_1 \cos \lambda_1 \sin \phi_2 - \cos \phi_2 \cos \lambda_2 \sin \phi_1);$$

$$C = \begin{vmatrix} \cos \phi_1 \cos \lambda_1 & \cos \phi_1 \sin \lambda_1 \\ \cos \phi_2 \cos \lambda_2 & \cos \phi_2 \sin \lambda_2 \end{vmatrix} = \cos \phi_1 \cos \phi_2 \sin(\lambda_2 - \lambda_1).$$

Отсюда

$$A^2 + B^2 + C^2 = (1-e^2)^2 \left(\sin^2(\phi_2 - \phi_1) + \sin 2\phi_1 \sin 2\phi_2 \sin^2 \frac{\lambda_2 - \lambda_1}{2} \right) + \cos^2 \phi_1 \cos^2 \phi_2 \sin^2(\lambda_2 - \lambda_1).$$

Построим новую систему координат. В ней направление оси аппликат совпадает с направлением вектора нормали к плоскости большого эллипса. Направляющие косинусы нормали запишутся следующим образом:

$$\cos \alpha = \frac{A}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad \cos \beta = \frac{B}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}};$$

$$\cos \gamma = \frac{C}{\sqrt{A^2 + B^2 + C^2}}; \quad \cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1.$$

Отсюда

$$\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta = 1 - \cos^2 \gamma = \sin^2 \gamma, \quad \vec{e}_3 = \vec{i} \cos \alpha + \vec{j} \cos \beta + \vec{k} \cos \gamma$$

Так как

$$|\vec{e}_3 \times \vec{k}| = |\vec{e}_3| \cdot |\vec{k}| \cdot \sin \gamma = \sin \gamma,$$

то

$$\vec{e}_1 = \frac{\vec{e}_3 \times \vec{k}}{\sin \gamma} = \frac{1}{\sin \gamma} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos \alpha & \cos \beta & \cos \gamma \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} = \frac{\cos \beta}{\sin \gamma} \vec{i} - \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} \vec{j}.$$

Так как \vec{k} отсутствует, то \vec{e}_1 лежит в экваториальной плоскости

$$\begin{aligned} \vec{e}_2 = \vec{e}_3 \times \vec{e}_1 &= \frac{1}{\sin \gamma} \begin{vmatrix} \vec{i} & \vec{j} & \vec{k} \\ \cos \alpha & \cos \beta & \cos \gamma \\ \cos \beta & \cos \alpha & 0 \end{vmatrix} = \frac{\cos \alpha \cos \gamma}{\sin \gamma} \vec{i} + \frac{\cos \beta \cos \gamma}{\sin \gamma} \vec{j} - \frac{\cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma}{\sin \gamma} \vec{k} = \\ &= \vec{i} \cos \alpha \operatorname{ctg} \gamma + \vec{j} \cos \beta \operatorname{ctg} \gamma - \vec{k} \sin \gamma - \frac{\cos^2 \alpha + \cos^2 \gamma}{\sin \gamma} \vec{k} = \vec{i} \cos \alpha \operatorname{ctg} \gamma + \vec{j} \cos \beta \operatorname{ctg} \gamma - \vec{k} \sin \gamma. \end{aligned}$$

Тогда формулы перехода к новому базису для любой точки пространства будут иметь следующий вид

$$\begin{cases} x = x' \frac{\cos \beta}{\sin \gamma} + y' \cos \alpha \operatorname{ctg} \gamma + z' \cos \alpha; \\ y = -x' \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma} + y' \cos \beta \operatorname{ctg} \gamma + z' \cos \beta; \\ z = -y' \sin \gamma + z' \cos \gamma, \end{cases}$$

где x', y', z' – декартовы координаты точки в повернутой системе координат.

Так как новый базис ортонормированный, то формулы обратного перехода запишутся так

$$\begin{cases} x' = \frac{x \cos \beta}{\sin \gamma} - \frac{y \cos \alpha}{\sin \gamma}; \\ y' = x \cos \alpha \operatorname{ctg} \gamma + y \cos \beta \operatorname{ctg} \gamma - z \sin \gamma; \\ z' = x \cos \alpha + y \cos \beta + z \cos \gamma. \end{cases}$$

Отсюда координаты точки M_1 в новой системе координат определяются таким образом:

$$\begin{aligned} x'_1 &= \frac{a \cos \phi_1 \cos \lambda_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1}} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \gamma} - \frac{a \cos \phi_1 \sin \lambda_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1}} \cdot \frac{\cos \alpha}{\sin \gamma}; \\ y'_1 &= \frac{a \cos \phi_1 \cos \lambda_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1}} \cdot \cos \alpha \operatorname{ctg} \gamma + \frac{a \cos \phi_1 \sin \lambda_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1}} \cdot \cos \beta \operatorname{ctg} \gamma - \frac{a(1-e^2) \cos \phi_1}{\sqrt{1-e^2 \sin^2 \phi_1}} \cdot \sin \gamma. \end{aligned}$$

Следует помнить, что $z'_1 = 0$, так как секущая плоскость проходит через начало координат.

Аналогичные формулы можно записать для координат точки M_2 .

Нетрудно показать, что в новой системе координат уравнение большого эллипса будет иметь следующий вид

$$\frac{(x')^2}{a^2} + (y')^2 \left(\frac{\cos^2 \gamma}{a^2} + \frac{\sin^2 \gamma}{b^2} \right) = 1.$$

Понятно, что большая полуось этого эллипса будет равна большей полуоси земного эллипсоида, то есть, $a' = a$, а его малая полуось b' определится формулой

$$b' = \frac{ab}{\sqrt{a^2 \sin^2 \gamma + b^2 \cos^2 \gamma}} = \frac{a\sqrt{1-e^2}}{\sqrt{1-e^2 \cos^2 \gamma}}.$$

С учётом этого первый эксцентриситет большого эллипса e' выразится формулой

$$e' = \sqrt{1 - \frac{1-e^2}{1-e^2 \cos^2 \gamma}} = \sqrt{\frac{e^2 \sin^2 \gamma}{1-e^2 \cos^2 \gamma}}.$$

Тогда в параметрической форме уравнение большого эллипса будет иметь следующий вид:

$$x' = a \cos t; \quad y' = b' \sin t = ae' \sin t,$$

где t – приведённая (параметрическая) широта.

Обозначим через l длину дуги большого эллипса между точками M_1 и M_2 . Дифференциал дуги кривой имеет следующий вид

$$dl = \sqrt{\left(\frac{dx'}{dt}\right)^2 + \left(\frac{dy'}{dt}\right)^2} dt = \sqrt{a^2 \sin^2 t + (b')^2 \cos^2 t} dt.$$

Отсюда

$$l = \int_{t_1}^{t_2} dl = \int_{t_1}^{t_2} \sqrt{a^2 \sin^2 t + (b')^2 \cos^2 t} dt;$$

где

$$t_1 = \begin{cases} \operatorname{arctg} \left(\frac{y'_1}{x'_1} \cdot \sqrt{\frac{1-e^2 \cos^2 \gamma}{1-e^2}} \right), & x'_1 > 0 \\ \pi + \operatorname{arctg} \left(\frac{y'_1}{x'_1} \cdot \sqrt{\frac{1-e^2 \cos^2 \gamma}{1-e^2}} \right), & x'_1 < 0. \end{cases}$$

Аналогичные формулы можно записать для приведённой широты точки M_2 .

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: большой эллипс, дуга большого эллипса, ортодромия.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, ст. научный сотрудник ФГОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

Коркишко Сергей Васильевич, ст. преподаватель ФГОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г. Владивосток, ул. Верхнепортовая, 50а, ФГОУ ВПО «МГУ им. адм Г.И. Невельского»

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

С.Г. Митрошин

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПАРОМНО-ТРАНСПОРТНЫХ ЛОГИСТИЧЕСКИХ СИСТЕМ, КАК ЭЛЕМЕНТА ИННОВАЦИОННОГО РАЗВИТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА..... 3

М.Е. Корягин, А.А. Нестерова

ВЫБОР ПАССАЖИРАМИ МАРШРУТА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ В СЛУЧАЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДВУХ СИСТЕМ ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА..... 6

А.М. Островский, А.М. Лисютин

О РАЗРАБОТКЕ НОРМАТИВНОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ В СФЕРЕ ПЕРЕВОЗОК ОПАСНЫХ ГРУЗОВ 9

А.А. Шпиганович, В.А. Шилова

ФИНАНСОВЫЙ АНАЛИЗ И РАСЧЕТ УРОВНЕЙ ЛИКВИДНОСТИ ИНВЕСТИЦИЙ В ЭНЕРГЕТИКЕ 12

Ю.Н. Семенов, О.С. Семенова

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ «ВОДИТЕЛЬ-АВТОМОБИЛЬ-ДОРОГА-СРЕДА-ДРУГИЕ УЧАСТНИКИ ДВИЖЕНИЯ» (ВАДСУ)..... 15

Ю.В. Губанова

МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАСХОДОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ОБЪЕМОВ РАБОТ В ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»..... 20

С.Ю. Коренева

К ПРОБЛЕМЕ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ НАЛОГООБЛОЖЕНИЯ МАЛОГО ПРЕДПРИНИМАТЕЛЬСТВА..... 23

В.В. Кожухарь

К УЧЕТУ И АНАЛИЗУ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ЗАТРАТ ПРЕДПРИЯТИЯ..... 26

В.М. Иванов, В.В. Кожухарь

К ВОПРОСУ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЛОГИСТИЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ПРЕДПРИЯТИЯ..... 30

Н.Г. Ананьева

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ ЗАНЯТОСТИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПЕРЕЕЗДА..... 35

Н.Н. Красильникова

ОСНОВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ СОВРЕМЕННОЙ ТРАНСКОНТИНЕНТАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПОЛИТИКИ (НА ПРИМЕРЕ ТРАНССИБИРСКОЙ МАГИСТРАЛИ) 38

А.Г. Панова, Е.С. Иваницкая

ИНТЕРНАЦИОНАЛИЗАЦИЯ БИЗНЕСА, ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗВИТИЯ И МОТИВАЦИИ МЕЖДУНАРОДНОГО МЕНЕДЖМЕНТА В СФЕРЕ МАТЕРИАЛЬНЫХ, ФИНАНСОВЫХ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПОТОКОВ 41

М.Ю. Квинт

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИОННО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ НАДЕЖНОСТИ ПУТЕВЫХ РАБОТ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ 44

СОДЕРЖАНИЕ

Т.И. Дутова	
ВЗАИМОСВЯЗЬ РАЗВИТИЯ ТУРИСТСКО-РЕКРЕАЦИОННОГО БИЗНЕСА И РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ТРАНСПОРТА.....	47
М.Ю. Квинт, Р.М. Брызгалова	
УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ КАК ОСНОВА ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	50
А.О. Самбур	
РАЗВИТИЕ ЛИЗИНГА РЕЧНОГО ФЛОТА В УСЛОВИЯХ КРИЗИСА.....	54
В.С. Воробьев, К.В. Каталымова, Н.М. Лихачева	
ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ УПРАВЛЕНИЯ ПОСТАВКАМИ МАТЕРИАЛЬНЫХ РЕСУРСОВ В ТРАНСПОРТНОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ.....	59
В.С. Воробьев, Р.М. Брызгалова, К.В. Каталымова, А.В. Фролова	
СТРАТЕГИЧЕСКОЕ ПЛАНИРОВАНИЕ КРУПНОМАСШТАБНЫХ ПРОЕКТОВ ТРАНСПОРТНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА.....	61
В.Ю. Астахова	
МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ПРИНЦИПЫ ОБОСНОВАНИЯ РАЦИОНАЛЬНОЙ ТЕХНОЛОГИИ И ОРГАНИЗАЦИИ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ В СМЕШАННОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНО-ВОДНОМ СООБЩЕНИИ.....	65
Т.В. Рубцова, Л.З. Муханова	
ФОРМИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ВНУТРЕННЕГО КОНТРОЛЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	68
П.Н. Рубежанский	
ФОРМИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗМЕРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТИВНОСТИ ТРУДА	72
М.М. Рассказова	
СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЗАВИСИМОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РАСХОДОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ОТ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОК.....	72
Е.А. Макарова	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РЕКОНСТРУКТИВНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ.....	72
Т.В. Андранович, М.О. Северова	
ОЦЕНКА ЛОКОМОТИВНОЙ СОСТАВЛЯЮЩЕЙ ЗАТРАТ НА ПЕРЕВОЗКУ ГРУЗОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ.....	72
Т.В. Андранович	
ПРОБЛЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ РАСХОДАМИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ В УСЛОВИЯХ СНИЖЕНИЯ ОБЪЕМА ПЕРЕВОЗОЧНОЙ РАБОТЫ.....	72
А.Л. Козловский, В.А. Щербаков	
ЛИЗИНГОВЫЕ СХЕМЫ В ЭФФЕКТИВНОМ ФОРМИРОВАНИИ ИМУЩЕСТВА ДОЧЕРНИХ ОБЩЕСТВ ПРЕДПРИЯТИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	72
Е.А. Савченко, Е.П. Шавров	
МЕТОДИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ К ФОРМИРОВАНИЮ МОДЕЛИ СОЦИАЛЬНО-ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ СРЕДЫ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»	72

А.П. Дементьев, Л.Н. Аршба	
ИННОВАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ КОМПЕТЕНТНОСТИ СПЕЦИАЛИСТОВ ФИНАНСОВО-ЭКОНОМИЧЕСКОГО БЛОКА ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА	72
И.Н. Спицына, В.А. Константинова	
УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ ПРЕДПРИЯТИЙ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ С ПОМОЩЬЮ ЛОКАЛЬНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ	72
И.Н. Спицына, В.А. Качинский	
ОСОБЕННОСТИ ВНЕДРЕНИЯ ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ	72
В.А. Константинова, В.В. Галтер	
ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНОЙ БАЗЫ ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ» ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЗАИМОРАСЧЕТОВ С СОБСТВЕННИКАМИ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	72
В.А. Щербаков, В.В. Ярыгин, Ю.В. Журавлева	
АНАЛИЗ ЗАВИСИМОСТИ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ НАЛОГОВЫХ ПЛАТЕЖЕЙ.....	72
Т.А. Лунина	
ПРОБЛЕМЫ КАЛЬКУЛИРОВАНИЯ РАБОТ ПО ТЕКУЩЕЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПУТИ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ БЮДЖЕТИРОВАНИЯ.....	72
Т.А. Лунина, О.В. Речкунова	
ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ОСОБЕННОСТЕЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА НА ПРЯМЫЕ ЗАТРАТЫ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЙ ВАГОННОГО ХОЗЯЙСТВА.....	72
А.П. Дементьев	
ПРОБЛЕМЫ УЧЕТА ЗАТРАТ И РЕЗУЛЬТАТОВ ТЕКУЩЕГО ОТЦЕПОЧНОГО РЕМОНТА СОБСТВЕННИКОВ ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ С ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ».....	72
В.А. Виниченко	
ОПТИМИЗАЦИЯ УЧАСТИЯ РЕЧНОГО ТРАНСПОРТА В СТРОИТЕЛЬСТВЕ НЕФТЕПРОВОДА «ВОСТОЧНАЯ СИБИРЬ-ТИХИЙ ОКЕАН»	72
ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО	
М.В. Кучеров, В.А. Щербаков	
ИССЛЕДОВАНИЕ ЦЕЛЕВОГО ПОКАЗАТЕЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ПУТЕВОГО ХОЗЯЙСТВА ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ.....	119
В.Л. Коркин	
АНАЛИЗ КОНКУРЕНТНЫХ ПОЗИЦИЙ КАК ИНСТРУМЕНТ СТРАТЕГИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ СТРОИТЕЛЬСТВА АВТОДОРОГ	122
Н.А. Ануфриев	
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОПТИМИЗАЦИИ ЗАТРАТ НА ДНОУГЛУБЛЕНИЕ	126
С.В. Павлушкин	
МЕТОДИКА РАСЧЕТНОГО ОБОСНОВАНИЯ ТРАССЫ И ГАБАРИТОВ МОСТОВЫХ ПЕРЕХОДОВ ЧЕРЕЗ СУДОХОДНЫЕ РЕКИ.....	128

В.В. Турбинский, В.А. Хмелев ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО-ПИТЬЕВОГО ВОДОСНАБЖЕНИЯ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА	129
В.С. Наумов, А.Н. Бородин МЕТОД СНИЖЕНИЯ АНТРОПОГЕННОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ РАЗЛИВОВ НЕФТИ И НЕФТЕПРОДУКТОВ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВ НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ	132
СУДОВОЖДЕНИЕ	
А.Г. Малышкин, В.К. Зефирин ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ПАССАЖИРСКИХ СУДОВ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ	137
Н.В. Сустретова, В.Л. Этин ПРОБЛЕМА УПРАВЛЕНИЯ БАЛЛАСТНЫМИ ВОДАМИ И ПУТИ ЕЁ РЕШЕНИЯ	141
Ю.А. Комаровский ПОВТОРЯЕМОСТЬ ПОГРЕШНОСТЕЙ КУРСА СПУТНИКОВОГО КОМПАСА JLR-10T	144
Л.К. Арабьян, Д.А. Шестаков ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ ДИСКРЕТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА В КАЧЕСТВЕ ДВИЖИТЕЛЕЙ РЕЧНЫХ СУДОВ.....	148
Л.К. Арабьян, И.П. Кутиков, Д.А. Шестаков ОБОСНОВАНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ГРЕБНЫХ ВИНТОВ.....	150
А.Ю. Лапай ЗАДАЧИ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ.....	152
П.А. Бимбереков НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ МОНИТОРИНГА ПРОЧНОСТИ СУДОВ В ХОДЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	155
Д.М. Фургаса, М.А. Пасечников, В.И. Меньшиков МОДЕЛЬ МНОГОПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ИНТЕРВАЛЬНОГО КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДНА	160
М.М. Еремин, И.В. Макеев, В.И. Меньшиков КЛАССИФИКАЦИЯ ОШИБОК В ИНТЕРФЕЙСЕ «ТЕХНИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО- ЧЕЛОВЕЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ»	162
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	
Е.А. Белоглазова ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МОТОРНОГО МАСЛА ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ	166
Е.А. Белоглазова ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОГО РАСХОДА МОТОРНОГО МАСЛА ДИЗЕЛЕЙ МОБИЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ	168

СОДЕРЖАНИЕ

С.В. Викулов	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ВЫСОКООБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО КОМПЛЕКСУ ПАРАМЕТРОВ СМАЗОЧНОГО МАСЛА	170
С.В. Викулов	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА ДЕТАЛЕЙ ЦИЛИНДРО-ПОРШНЕВОЙ ГРУППЫ ВЫСОКООБОРОТНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО РАСХОДУ МАСЛА.....	173
М.К. Романченко	
ОСЕСИММЕТРИЧНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ.....	175
М.К. Романченко	
НЕУСТОЙЧИВОСТЬ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ОБОЛОЧКИ	178
О.Г. Куделин, В.И. Фомин	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕКОТОРЫХ НЕСТАНДАРТНЫХ ПРЕДЕЛОВ	179
В.И. Фомин, О.Г. Куделин	
АНАЛИТИЧЕСКОЕ ВЫЧИСЛЕНИЕ НЕСОБСТВЕННОГО ИНТЕГРАЛА Н.И. ЛОБАЧЕВСКОГО	181
П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева	
РАСЧЕТ СТАТИЧЕСКОГО ТЯГОВОГО УСИЛИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ	183
П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ СООТНОШЕНИЙ ОСНОВНЫХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМАГНИТОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ.....	185
В.В. Бирюков, А.А. Осьмук	
ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПЕРЕДАТОЧНОГО ЧИСЛА РЕДУКТОРА НА РАСХОД ЭНЕРГИИ НА ДВИЖЕНИЕ ТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА	188
А.А. Мартынов	
О ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ДИЗЕЛЬНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК С ВИНТАМИ РЕГУЛИРУЕМОГО ШАГА НА СУДАХ РЕЧНОГО ФЛОТА.....	189
А.А. Зуев	
СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО УРАВНОВЕШИВАНИЯ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК	191
Д.В. Плаксин	
ЗВУКОИЗОЛЯЦИЯ ПОМЕЩЕНИЙ	193
А.А. Зуев	
НОВЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ МЕХАНИЗМОВ И СИСТЕМ.....	195
А.Г. Батухтин, М.С. Басс, С.Г. Батухтин	
МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ТРАНСПОРТИРОВКИ, РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И ПОТРЕБЛЕНИЯ ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ.....	199

П.Г. Сафронов, А.Г. Батухтин, С.А. Иванов ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕПЛООВОГО НАСОСА В ТЕПЛОВЫХ СХЕМАХ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ.....	202
Ю.Е. Векслер ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КРЫШКИ ЦИЛИНДРА СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ 6RD76.....	204
В.Н. Кучеров, М.В. Флорианская, Т.С. Шевченко СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ И РЕМОНТОПРИГОДНОСТИ ЦИЛИНДРОВЫХ ВТУЛОК СУДОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ 6ДКРН45/120-7.....	207
Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов НОВЫЕ ТКАНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИХСЯ ФИЛЬТРОВ СИСТЕМ ТОПЛИВО- И МАСЛООЧИСТКИ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК.....	209
Л.О. Соловьева, Ю.И. Ришко, А.М. Барановский МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА СУДОВОГО ВИБРОИЗОЛЯТОРА.....	213
Г.А. Гаук ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА ОПТИМАЛЬНОГО УГАРА МОТОРНОГО МАСЛА ПО ЭКОНОМИЧЕСКОМУ КРИТЕРИЮ В СУДОВЫХ СРЕДНЕОБОРОТНЫХ ДИЗЕЛЯХ.....	217
А.А. Селёдкин, А.А. Малозёмов, В.В. Герцев ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПУСКОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ДИЗЕЛЕЙ РАЗМЕРНОСТЬЮ 13/14.....	220
В.А. Романов, А.В. Тананыкин, А.А. Малоземов, В.С. Кукис АППРОКСИМАЦИОННЫЕ УРАВНЕНИЯ ДЛЯ РАСЧЕТА ИНДИКАТОРНЫХ И ЭФФЕКТИВНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДИЗЕЛЯ.....	223
И.Г. Мироненко ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ РЕЧНЫХ СУДОВ.....	225
А.С. Екимов, Н.Г. Петрова, С.С. Глушков ИЗМЕРЕНИЕ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОПРОВОДОВ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК ТЕПЛОХОДОВ ПРОЕКТА 1741А.....	228
О.Н. Лебедев, В.П. Зайцев, О.В. Рослякова, Г.С. Юр ВЛИЯНИЕ ВОДЫ В ТОПЛИВНЫХ СИСТЕМАХ НА СНИЖЕНИЕ ОБРАЗОВАНИЯ ОКСИДОВ АЗОТА В СУДОВЫХ ДИЗЕЛЯХ.....	230
А.М. Худоногов, Д.А. Оленцевич, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина АНАЛИЗ НАДЁЖНОСТИ ИЗОЛЯЦИИ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА С УЧЁТОМ ОСОБЕННОСТЕЙ КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ.....	232
А.М. Худоногов, С.Г. Еремеев, Е.М. Лыткина КРИТЕРИИ ОПТИМАЛЬНОСТИ ПРИ КАПСУЛИРОВАНИИ ИЗОЛЯЦИИ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ ОБМОТОК ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ТЯГОВОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.....	236
М.В. Сидоров, В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина РЕШЕНИЕ ПРОБЛЕМ ВЫЯВЛЯЕМОСТИ ДЕФЕКТОВ СВАРНОГО СТЫКА РЕЛЬСА С ПОМОЩЬЮ ЗАДАЧ МОДЕЛИРОВАНИЯ.....	239

В.В. Сидоров	
ВЫЧИСЛЕНИЕ ФУНКЦИИ РАССЕЯНИЯ В ЗАДАЧАХ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗВУКОВОГО ПОЛЯ ВБЛИЗИ ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД	242
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
В.К. Фёдоров, А.В. Бубнов, В.К. Грунин, П.В. Рысев, Е.Ю. Свешникова, А.С. Никишкин, С.Ю. Прусс, Д.В. Рысев, Д.В. Фёдоров	
МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕЖИМОВ ДЕТЕРМИНИРОВАННОГО ХАОСА В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	245
С.Н. Бренков	
СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ФИЛЬТРОКОМПЕНСИРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ООО «НИИЭФА-ЭНЕРГО»	247
С.Б. Долгушин, И.Н. Дмитриев, Е.Ю. Кислицин, Е.В. Иванова, А.А. Левченко, С.В. Любаков, В.Г. Сальников	
ВЫБОР БАЗОВОГО ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ В ЗАМКНУТЫХ СЕТЯХ ОТ 6 ДО 35 кВ СЕВЕРНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ГАЗА	250
Е.В. Иванова, В.В. Горелов, И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова, А.А. Левченко, В.Г. Сальников	
КОНДУКТИВНАЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ПОМЕХА ПО ТОКУ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТИ ОТ 6 ДО 35 кВ С НЕЙТРАЛЬЮ, ЗАЗЕМЛЁННОЙ ЧЕРЕЗ РЕЗИСТОР	254
С.М. Асосков, В.В. Горелов, В.П. Горелов, И.Н. Дмитриев, С.Б. Долгушин, А.А. Левченко, К.С. Мочалин	
РАСЧЁТ РЕЗИСТОРНЫХ УСТРОЙСТВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО НАЗНАЧЕНИЯ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ ИЗ РЕЗИСТИВНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ	257
В.В. Горелов, И.Н. Дмитриев, Ю.М. Иванова, А.А. Левченко, К.С. Мочалин, В.Г. Сальников	
ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОДАВЛЕНИЯ КОНДУКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОМЕХ ПО ТОКУ ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ В СЕТЯХ ОТ 6 ДО 35 кВ.....	261
А.В. Дед, С.С. Сиромеха	
АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ НЕСИММЕТРИЧНОЙ НАГРУЗКИ НА ВЕЛИЧИНУ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ.....	264
В.Н. Горюнов, Д.С. Осипов, А.Г. Лютаревич	
РАСЧЕТ ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ОТ ВЛИЯНИЯ ВЫСШИХ ГАРМОНИК.....	268
Ф.Л. Бык	
КРИЗИС КАК ЕСТЕСТВЕННЫЙ, НО НЕ ОБЯЗАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ РАЗВИТИЯ В ЭНЕРГЕТИКЕ	273
Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин	
О НЕОБХОДИМОСТИ РАЗЛИЧНОГО ПОДХОДА К РАСЧЕТУ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ В СТАТИКЕ И ДИНАМИКЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ МЕХАНИЗМОВ.....	277
В.В. Барсков, В.А. Бурчевский, Л.В. Владимиров, В.И. Суриков, А.В. Щекочихин	
АНАЛИЗ ВЫРАЖЕНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЕМКОСТНОЙ ПРОВОДИМОСТИ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ	282

Е.П. Зацепин, Ю.А. Шурыгин ПРИМЕНЕНИЕ УПРАВЛЯЕМЫХ РЕАКТОРОВ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОУСТАНОВОК	285
С.А. Филимонов ЗАВИСИМОСТЬ РЕСУРСА ИЗОЛЯЦИИ КАБЕЛЬНОЙ СЕТИ ОТ ДЛИТЕЛЬНОСТЕЙ ОДНОФАЗНОГО ЗАМЫКАНИЯ НА ЗЕМЛЮ	288
Л.И. Малинин, В.А. Кондратьев, В.Л. Малинин АНАЛИЗ ДВУХ ПОДХОДОВ К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ	291
А.Н. Шпиганович, П.В. Буев АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОССТАНАВЛИВАЕМОЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ.....	297
А.Н. Шпиганович, И.Г. Шилов КОМПЛЕКС ДИНАМИЧЕСКОГО ПОДАВЛЕНИЯ ПРОВАЛОВ И ВОССТАНОВЛЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ.....	300
С.Н. Чижма НОВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ИСКАЖЕНИЯ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ.....	304
С.Н. Чижма, Р.И. Газизов ВИРТУАЛЬНЫЙ ГЕНЕРАТОР ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИГНАЛОВ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЯХ	307
Д.А. Чумачев МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ	310
Н.И. Щуров, А.М. Головин, В.В. Бирюков К ОПРЕДЕЛЕНИЮ МОЩНОСТИ ТЯГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ТРОЛЛЕЙБУСА С МОТОР-КОЛЕСОМ	312
А.В. Крюков, В.П. Закарюкин, Д.С. Кобычев ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВЕДЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С УЧЕТОМ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКОВ КОНТАКТНОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	315
Ф.Л. Бык НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКИ КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ЕЁ СВОЙСТВА ЭМЕРДЖЕНТНОСТИ.....	319
И.Н. Краснокуцкий УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПИТАНИЕМ СВЕТИЛЬНИКОВ НАРУЖНОГО ОСВЕЩЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СТАНЦИЙ	321
С.М. Кузнецов, И.С. Демиденко, М.В. Ярославцев, А.В. Гашкова, А.О. Кривова ИССЛЕДОВАНИЕ НА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ В ТЯГОВОЙ СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПРИ ПУСКЕ ПОЕЗДА	324
Е.А. Спиридонов, А.А. Штанг СНИЖЕНИЕ МАССОГАБАРИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ РЕГУЛИРОВАНИЕМ ВОЗБУЖДЕНИЯ ТЯГОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ В РЕЖИМЕ ТОРМОЖЕНИЯ	328

А.П. Вертохвостов

РАСЧЕТ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ
ПАРАМЕТРОВ ТЯГОВОГО ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ 330

Г.Я. Иванов, А.Ю. Кузнецов

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ПЕРЕГРУЗОЧНАЯ СПОСОБНОСТЬ
ПО МОМЕНТУ ЧАСТОТНО-УПРАВЛЯЕМОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ С
КОРОТКОЗАМКНУТЫМ РОТОРОМ 335

В.Н. Мещеряков, Д.В. Пешков

ПРИНЦИП ПОСТРОЕНИЯ РАЗОМКНУТЫХ ПО СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ
СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ
С ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ ЧАСТОТЫ НА БАЗЕ
АВТОНОМНЫХ ИНВЕРТОРОВ ТОКА..... 338

Б.В. Малозёмов, Е.В. Фоменко

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ SCADA-СИСТЕМ ДЛЯ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ
ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ 341

В.А. Карпенко, А.В. Сериков, В.М. Кузьмин

НАГРЕВАТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ ТРАНСФОРМАТОРНОГО ТИПА
ДЛЯ СИСТЕМЫ ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ 344

В.И. Сопов, В.В. Бирюков, А.А. Помазная, Ю.В. Аверина

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ РЕЖИМЫ РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫХ
АГРЕГАТОВ ПОДСТАНЦИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА..... 346

В.С. Циркин

КЛАССИФИКАЦИЯ ИСКАЖЕНИЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ
В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ СЕТЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
ВЕЙВЛЕТ-ПРЕОБРАЗОВАНИЯ И НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ 349

И.Ю. Мацько

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СПЕКТРАЛЬНО-ВРЕМЕННОГО АНАЛИЗА
ДЛЯ КОНТРОЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ
ПОСТОЯННОГО ТОКА..... 352

М.Я. Клецель, А.С. Стинский, К.Т. Шахаев, К.И. Никитин

РЕЗЕРВНАЯ ТОКОВАЯ НАПРАВЛЕННАЯ ЗАЩИТА
ЛИНИЙ ОРУ 330-750 кВ 355

А.П. Малахов, Д.Б. Бочков

ЛИНЕЙНЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДЫ ДЛЯ ВИБРАЦИОННОГО ПОГРУЖЕНИЯ,
ИЗВЛЕЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ
И В ВИБРОСЕЙСМИЧЕСКИХ РАБОТАХ 358

А.П. Малахов

ЭЛЕКТРОМОЛОТЫ В ПРОМЫШЛЕННОМ, ГРАЖДАНСКОМ СТРОИТЕЛЬСТВЕ
И ДЛЯ ВОЗВЕДЕНИЯ МОРСКИХ СТАЦИОНАРНЫХ ПЛАТФОРМ..... 363

В.Г. Ляпин

ПРИМЕНЕНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ
РАСТИТЕЛЬНЫХ ОБЪЕКТОВ В КАЧЕСТВЕ
ДИАГНОСТИЧЕСКОГО МЕТОДА ПОВРЕЖДЕНИЯ 370

В.Г. Ляпин

СПОСОБЫ, АППАРАТУРА И УСТРОЙСТВА,
ПОВЫШАЮЩИЕ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИССЛЕДОВАНИЙ
ЭЛЕКТРОДНОЙ СИСТЕМЫ МОБИЛЬНЫХ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК..... 373

В.И. Клеутин, В.В. Лебедева, О.А. Малаенко АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ МОЩНЫХ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ НА ПИТАЮЩУЮ СЕТЬ	376
Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин, С.И. Петров, А.А. Руппель, К.В. Хацевский МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЁТ ИНДУКЦИОННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОНАГРЕВА.....	378
В.С. Пастухов, К.М. Иванов СПОСОБ ЭФФЕКТИВНОГО ВЫЯВЛЕНИЯ МОМЕНТА ВОЗНИКНОВЕНИЯ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ.....	382
А.Г. Туйгунова СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ОЦЕНКЕ СОСТОЯНИЯ ИЗОЛЯЦИИ СИЛОВЫХ МАСЛОНАПОЛНЕННЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ	384
А.Г. Туйгунова ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ СИСТЕМЫ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ КЛИМАТА.....	387
Ю.М. Кулинич, Ю.С. Кабалык ПОВЫШЕНИЕ СИНУСОИДАЛЬНОСТИ ФОРМЫ НАПРЯЖЕНИЯ В КОНТАКТНОЙ СЕТИ ПРИ РАБОТЕ ЭЛЕКТРОВЗОВ ОДНОФАЗНО-ПОСТОЯННОГО ТОКА	390
В.Ю. Гросс, Е.Г. Гурова, П.Г. Старостин ВЫВОД ЗАКОНА РЕГУЛИРОВАНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ЛИНЕЙНОЙ СИСТЕМЫ ПЕРЕСТРОЙКИ КОМПЕНСАТОРА ЖЁСТКОСТИ.....	393
Ш.К. Исмаилов, А.П. Шиляков, А.С. Талызин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ИЗНОСА БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ДЛЯ КОРРЕКТИРОВКИ ПРОГРАММЫ ОБТОЧЕК КОЛЕСНЫХ ПАР.....	395
Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ОБРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ КОЛЛЕКТОРОВ НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ОДНОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА.....	398
Ш.К. Исмаилов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Е.И. Селиванов, А.С. Талызин ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПЕРТ ДЛЯ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ РЕМОНТА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ И КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ10	401
М.Г. Вишнягов, А.М. Журовский, В.И. Клеутин, А.А. Руппель, В.Г. Сальников, А.А. Сидоренко РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМЕ ПЛАВКРАНА СПГ-43/82	404
И.Ю. Норкин ОСОБЕННОСТИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ КОММЕРЧЕСКОГО УЧЕТА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ РОЗНИЧНЫХ РЫНКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ (АСКУЭ РРЭ) НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ	408
А.А. Хряков МЕТОД КОМПЕНСАЦИИ СМЕЩЕНИЯ НУЛЯ В СЧЁТЧИКАХ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА И ТЯГОВЫХ ПОДСТАНЦИЙ	411

СОДЕРЖАНИЕ

В.М. Кузьмин, И.Н. Дубровский АВТОНОМНЫЙ ИСТОЧНИК ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ СТАБИЛЬНОЙ ЧАСТОТЫ НА ОСНОВЕ ДВУХМАШИННОГО СОВМЕЩЁННОГО ГЕНЕРАТОРА	414
В.В. Сидоров, Е.М. Лыткина ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОКАЛОРИФЕРНОЙ УСТАНОВКИ ТИПА СФОЦ 70	418
Б.В. Палагушкин, Л.В. Садовская, Ю.В. Демин, Е.Г. Хромов, А.И. Мозилов, А.В. Судник ОПЕРАТИВНОЕ ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПОТРЕБЛЕНИЕ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ	421
А.Ф. Бурков, Н.Д. Крицкий ПРОБЛЕМЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОНТАКТНЫХ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ И НЕКОТОРЫЕ ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ	425
А.Ф. Бурков АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ АНАЛИТИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ СУДОВЫХ ВСПОМОГАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ	427
А.Ф. Бурков, Н.Д. Крицкий РАСЧЕТ КОНТАКТНЫХ СИСТЕМ КОНТАКТОРОВ ПРИ ИХ РАБОТЕ В УСЛОВИЯХ БЕЗДУГОВОЙ КОММУТАЦИИ	433
СУДОВОЖДЕНИЕ	
Ю.А. Комаровский, С.В. Коркишко ДЛИНА ДУГИ БОЛЬШОГО ЭЛЛИПСА	438

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №1 журнала за 2010 г. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову Валерию Владимировичу по электронной почте: mrk-nsawt@ngs.ru Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 апреля 2010 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №1 журнала за 2010 год

	на русском языке	на английском языке
Название статьи		
Аннотация (150-200 символов)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название, почтовый адрес)		
Автор(ы), (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, должность, мобильный телефон*)		
Адрес электронной почты (для обратной связи)		

*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов и разглашению не подлежит

С условиями публикации ознакомлен(ы), представленный материал ранее не был опубликован, рецензию от компетентного по тематике статьи лица гарантируем.

Дата

Подпись(и)

Требования к представлению материалов:

- 1 Статья на бумажном и электронном носителе формат MS WORD 2003 (объем 3-5 страниц формата А4, ориентация книжная, шрифт Arial, размер шрифта 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка на публикацию научной статьи (на русском и английском языках).
- 3 Заверенная рецензия (от компетентного по тематике статьи лица, с полным указанием его ФИО, ученой степени, ученого звания, должности и почтового адреса организации).
- 4 Графический материал не подлежит правке при верстке (поясняющий текст на рисунках должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см.
- 5 Ширина таблиц не более 15 см.
- 6 Все математические формулы и выражения должны быть набраны в специальном редакторе формул (Mathtype 6), шрифт Arial.
- 7 Ссылки на литературу выполняются сквозной нумерацией арабскими цифрами, в квадратных скобках в порядке указания. На каждый указанный в списке источник, должна быть ссылка в тексте статьи.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)

С условиями публикации научных и рекламных материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерий Владимировича, тел./факс (383)222-49-83, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33. ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» а также на сайте ФГОУ ВПО «НГАВТ» по адресу: <http://www.nsawt.ru> в разделе «Издательство». Для аспирантов очного отделения публикация материалов в журнале – бесплатно, в порядке очередности и актуальности.

НАУЧНОЕ ИЗДАНИЕ
Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока
№2 за 2009 год

Компьютерная верстка – Коновалов В.В.

Подписано в печать 23.12.09 с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso
Усл. печ. л. 52,6 , тираж 1500 экз. Заказ №138
Цена договорная

ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» (ФГОУ ВПО НГАВТ), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. 22-64-68, факс 22-49-76

Отпечатано в издательстве ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ISSN 2071-3827

Подписной индекс 62390