

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.И. Минеев, С.В. Костров

SUBSTANTIATION OF EFFICIENCY OF COMBINED TECHNOLOGIES OF CARGO TRANSPORTATION BY WATER TRANSPORT
Volga state academy of water transport
V.I. Mineev, S.V. Kostrov

The article is devoted to improving the competitiveness and efficiency of combined transport of water transport in the delivery of goods in vessels of river-sea navigation in the international transport corridor «North-South».

Keywords: water transport, combined transport, multimodal transport, integrated cargo unit, inland waterways, international shipping

Рассмотрены вопросы повышения конкурентоспособности и эффективности комбинированных перевозок на водном транспорте при доставке грузов в судах смешанного река-море плавания в рамках международного транспортного коридора «Север-Юг».

Водным транспортом в мире выполняется 62-65% всех грузовых перевозок.

В условиях глобализации экономик водный транспорт играет ключевую роль в развитии любой страны, обеспечивая международные связи различных государств и их транспортную независимость (безопасность).

Морским транспортом в Великобритании, Японии обслуживается 98% всех внешнеторговых перевозок, в Греции и Испании – 94%, в Финляндии и Норвегии – 88% [1].

Морским транспортом России обслуживается всего около 5% внешнеторговых перевозок вместо 60% до перестройки.

Наибольший удельный вес внутреннего водного транспорта (ВВТ) в грузообороте развитых стран составляет: в Германии – 19%, в США – 12%, в Бельгии – 10%.

В настоящее время, несмотря на географические преимущества, Россия по экспорту транспортных услуг занимает место лишь во втором десятке стран-экспортеров.

Привлечение на транспортные коммуникации России даже 5% от общего объема транзитных перевозок в евроазиатском сообщении обеспечит рост ежегодных доходов отечественных транспортных и операторских компаний на 2-3 млрд. долларов США.

Конкуренция на мировом рынке обостряется, страны-конкуренты ищут способы для установления транспортного диалога «Европа – Азия» без участия России. Восстановление Шелкового пути в современном формате, строительство и эксплуатация крупнотоннажных морских судов – контейнеровозов иностранными компаниями ведет к тому, что Россия может оказаться в ситуации, когда крупные торговые и финансовые потоки пойдут в обход России.

Такая постановка вопроса диктует ряд жестких требований к проводимой государством и хозяйствующими субъектами политики в сфере транспорта и предполагает усиление его роли в реализации транзитного потенциала России, в том числе за счет использования ВВТ.

За годы перестройки в России удельный вес внутреннего водного транспорта снизился с 4% до 1,2% при одновременном сокращении общего размера грузооборота.

За время реформирования водный транспорт понес наибольшие потери из-за серьезных ошибок при приватизации собственности и раздробления его основных фондов, отсутствия научно-обоснованных решений внедрения современных методов работы в условиях перехода к рынку.

Вместо 20 крупнейших интегрированных судоходных компаний, включающих в себя флот, судостроительные и судоремонтные предприятия, порты, в России в 2012 году функционировало 3854 судовладельцев, из которых 94% относилось к мелким.

В результате такой ситуации около 34% всех предприятий внутреннего водного транспорта в стране убыточны, то есть расходы не покрываются доходами от их деятельности. Велико число убыточных предприятий и на других видах транспорта (рисунок).

В действительности число убыточных предприятий на всех видах транспорта и в промышленности страны значительно больше, но они продолжают функционировать за счет активного «проедания» основных фондов.

Сопоставление экономических показателей деятельности различных транспортных отраслей позволяет говорить, что использование речного транспорта наиболее эффективно для перевозок массовых грузов на средние и дальние расстояния, особенно между пунктами, расположенными на глубоководных судоходных путях и районах, где нет других магистральных видов транспорта, или они недостаточно развиты. Себестоимость перевозок внутренним водным транспортом в зависимости от их вида и маршрутов на 40-50% ниже против железнодорожного транспорта и 7-10 раз против автомобильного. Поэтому известные перспективы имеет ВВТ при доставке грузов в смешанных сообщениях, то есть совместно с другими видами транспорта на направлениях, где они более эффективны, чем перевозки одним видом транспорта, а также для разгрузки автодорожных и железнодорожных участков, имеющих ограниченные пропускные способности [2, 3].

Таким образом, для возрождения водного транспорта как наиболее экономичного за счет использования естественных водных путей, обладающего относительно большой грузоподъемностью одной единицы флота (до 10000 т) и для освоения новых грузопотоков, особенно в коридоре Север-Юг необходимо осуществить комплекс радикальных мер по повышению эффективности организации бесперевалочных перевозок, в том числе за счет использования технологий комбинированной доставки грузов.

Учитывая развитую сеть водных коммуникаций в Приволжском федеральном округе, внутренний водный транспорт имеет огромное значение для экономики и населения. Речные грузовые и пассажирские перевозки востребованы во всех регионах округа. Предприятия внутреннего водного транспорта Приволжского федерального округа обеспечивают более 35% от общего объема перевозок грузов и более 28% – пассажиров. Перевозки грузов осуществляются как во внутреннем, так и в международном сообщении.

Следует отметить, что из-за дефицита судов река-море плавания, из-за их практически полного износа транспортировка внешнеторговых грузов осуществляется в основном железнодорожным транспортом и судами внутреннего плавания с перевалкой в морских портах. Только через морские порты Украины осуществляется перевалка 66 млн. т российских внешнеторговых грузов и через морские порты стран Балтики – 38 млн. т. При этом их транспортировка осваивается иностранными судами. Очевидно, что при наличии современных судов смешанного река-море плавания значительную часть этих грузов можно было освоить российскими судовладельцами, разгрузив частично железнодорожный и автомобильный транспорт страны и ликвидировав огромные затраты на перевалку грузов с одного вида транспорта на другой, а также простои автотранспорта в «пробках», что способствовало бы сокращению расходов по доставке грузов и повышению конкурентоспособности российской продукции на внешнем рынке.

Кроме того, имеются значительные грузопотоки из стран Западной и Северной Европы в государства Восточной Азии, часть которых возможно переключить с традиционных схем доставки на суда река-море плавания с использованием водного коридора «Север-Юг». Однако для переключения грузопотоков из стран Запада и российских внешнеторговых грузов с железной дороги необходимо завершить создание уникальной Единой глубоководной системы в центре Европейской части страны протяженностью 7000 км путем наполнения Чебоксарского водохранилища до проектной отметки 68 м в соответствии с решением Правительства РФ. В результате чего будет ликвидирован последний мелководный участок Волги протяженностью около 40 км. Задержка наполнения наносит серьезные потери энергетике

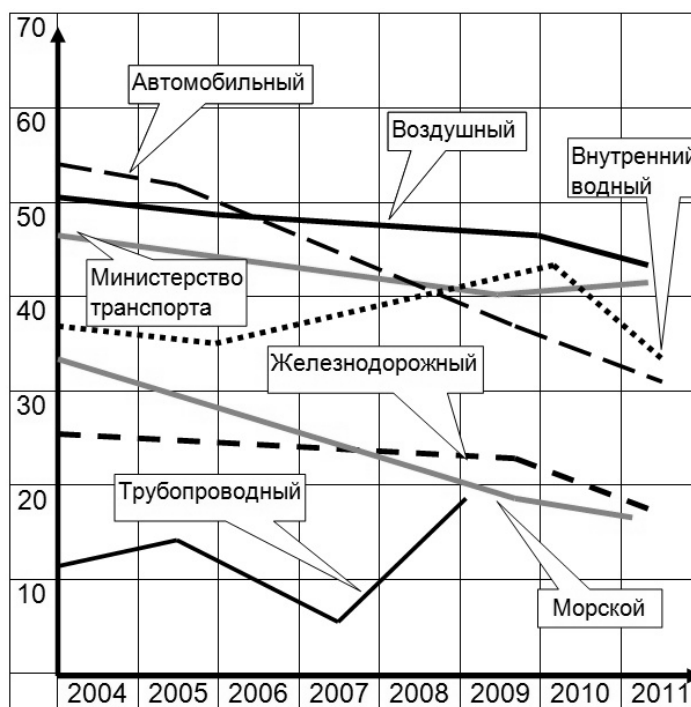


Рисунок – Удельный вес убыточных предприятий транспорта [4], %

страны в размере свыше 28 млрд. руб./год, а также огромные потери несет водный транспорт из-за недогружа судов и невозможности организовать международные перевозки грузов в водном коридоре Север-Юг в судах нового поколения повышенной грузоподъемности.

Наполнение Чебоксарского водохранилища до 68 отметки позволит строить суда смешанного река-море плавания увеличенной грузоподъемности на 40-45% по сравнению с существующими, что значительно повысит конкурентоспособность водного транспорта.

Одновременно с решением данного вопроса и строительством судов повышенной грузоподъемности необходимо внедрить новую комбинированную технологию доставки различных грузов, которая больше, чем существующие, адаптирована к новым рыночным условиям, более гибко реагирует на конъюнктуру рынка транспортных услуг, позволяя использовать преимущества и устранить недостатки в использовании отдельных видов транспорта и транспортных коммуникаций.

Комбинированная перевозка – это перевозка грузов общей массой или в одном и том же грузовом месте или транспортным средством путем комбинации различных видов транспорта или транспортных коммуникаций, или путем использования специальных транспортных средств.

В рамках комбинированных транспортных систем создаются транспортно-логистические системы, в которых исходя из формы предъявления объекта (груза) взаимоувязываются технологии различных видов транспорта, транспортные средства (автомобили, вагоны, суда, самолеты, терминалы), средства инфраструктуры, организационно-правовые и коммерческие (тарифные) условия и элементы. При этом наиболее перспективными на водном транспорте являются комбинированные перевозки, осуществляемые по мультимодальным схемам с использованием укрупненных грузовых единиц (УГЕ) – контейнеров, контрейлеров, лихтеров и специальных судов.

Важным направлением работы по повышению эффективности комбинированных перевозок является также их надлежащее информационное и нормативно-правовое обеспечение [5].

Анализ грузопотоков в коридоре Север-Юг показывает, что их можно разделить на транзитные, экспортно-импортные и внутренние. Транзитные и экспортно-импортные могут выполняться только судами смешанного река-море плавания, а внутренние – судами класса «0», строительная стоимость которых в сопоставимых условиях в 2-2,5 раза меньше судов смешанного река-море плавания. Поэтому формирование комбинированных составов из грузовых теплоходов и несамоходных секций следует производить исходя из условий плавания и классификации грузопотоков. При этом достигается концентрация не только различной мощности грузопотоков, но и судов для формирования составов большой грузоподъемности. Для этого необходимо заранее разработать правила формирования таких составов и требования к судам.

Расчеты показывают, что при организации комбинированных перевозок грузов на маршрутах в зависимости от конкретных условий себестоимость перевозок по сравнению с существующими (за счет сокращения расходов на дополнительное хранение грузов, снижения их потерь при перевалке, концентрации объемов перевозок и т.п.) снижаются на 30-40%. Это важно, так как происходит рост конкурентоспособности.

Освоение новых объемов внутренних и внешних грузопотоков судами нового поколения и по новой технологии позволит ВВТ не только разгрузить железные дороги и автомагистрали на ряде направлений в напряженный летний период, морские порты, но и повысить транспортную безопасность России, а также создать десятки тысяч рабочих мест для высококвалифицированных работников транспорта, судостроителей. Значение ВВТ будет возрастать по мере роста экономики приречных регионов, их экспортного потенциала и в связи с предстоящим их открытием для международного судоходства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лукьянович, Н.В. Морской транспорт в мировой экономике / Н.В. Лукьянович. -М.: Моркнига, 2009. -162 с.
- 2 Веселов, Г.В. Проблемы и направления формирования конкурентоспособных форм и способов организации грузовых перевозок на водном транспорте / Г.В. Веселов, С.В. Костров // Вестн. СамГУПС. -2012. -№2. -С. 31-36.
- 3 Инновационные технологии – основа развития речного транспорта в XXI веке / В.И. Минеев, Н.А. Ефремов, В.Н. Костров, В.Л. Этич, С.Г. Митрошин // Реч. трансп. (XXI в.). -2009. -№6(42). -С. 34-39.
- 4 Основные показатели транспортной деятельности в России, 2010: стат. сб. / Росстат. -М., 2010. -95 с.
- 5 Костров, В.Н. Интеграция науки, вузовского интеллекта и бизнеса как выход экономики и транспорта регионов на инновационный путь развития / В.Н. Костров, М.С. Коновалов // Человек в системе коммуникаций: сб. науч. тр. / НГЛУ; под ред. Е.П. Савруцкой. -Н.Новгород, 2010. -С. 177-191.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: водный транспорт, комбинированные перевозки, смешанные перевозки, укрупненная грузовая единица, внутренние водные пути, международные перевозки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Минеев Валерий Иванович, докт. техн. наук, профессор, президент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
Костров Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г. Нижний Новгород, ул. Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ОПЫТ И ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ БАССЕЙНЕ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**С.Н. Масленников, В.С. Никифоров, Ю.А. Субботин, Д.А. Елисеева,
А.С. Кравчук, Н.В. Чикулаева**

EXPERIENCE AND TENDENCIES OF THE ORGANIZATION OF CARGO TRANSPORTATION ON OB-LRTYSH REGION

Novosibirsk state academy of water transport

S.N. Maslennikov, V.S. Nikiforov, Yu.A. Subbotin, D.A. Eliseeva, A.S. Kravchuk, N.V. Chikulaeva

Results of the analysis of cargo transportation in the conditions of transition to market economy and the basic directions of increase of their efficiency on Ob-Irtysh river region.

Keywords: cargo transportation, river region, transport's fleet, efficiency

Результаты анализа грузовых перевозок в условиях перехода к рыночной экономике и основные направления повышения их эффективности в Обь-Иртышском речном бассейне.

Результаты анализа грузовых перевозок в условиях перехода к рыночной экономике и основные направления повышения их эффективности в Обь-Иртышском речном бассейне.

Ускоренное развитие речного транспорта Обь-Иртышского бассейна пришлось на 1960-1980 гг. в связи с созданием Западно-Сибирского нефтегазового комплекса. (ЗСНГК). Перевозки осуществлялись флотом Западно-Сибирского и Иртышского пароходств. В период бурного освоения нефтегазовых месторождений общий объем речных грузовых перевозок в бассейне превышал 50 млн. т. В 1983 г. с целью более полного удовлетворения потребностей ЗСНГК в грузовых перевозках было организовано Обь-Иртышское объединенное речное пароходство (ОИОРП) на базе Иртышского речного и Тюменского линейного пароходств с центром в г. Тюмени. В 1985 г. был достигнут наибольший показатель перевозок грузов флотом ОИОРП – свыше 35 млн. т. В 1987 г. ОИОРП было разделено на два самостоятельных пароходства: Обь-Иртышское (ОИРП) с управлением в г. Тюмень и Иртышское (ИРП, г. Омск). Потребность в грузовых перевозках сохранялась на высоком уровне до начала 1990-х гг. Доля внутреннего водного транспорта в грузовых перевозках по региону составляла около 3%, но по грузообороту, 2/3 которого приходилось на железнодорожный транспорт, достигала 10%. В 1990 г. общий объем грузовых перевозок в бассейне составил свыше 61 млн. т, в том числе флотом ОИРП 14,9 млн. т, ИРП – 18,4 млн. т, ЗСРП – 31,8 млн. т. К этому времени наибольшую долю в грузовых перевозках стали составлять строительные грузы (гравий, песок, щебень, шлак), необходимые для устройства месторождений, строительства городов и дорог (рисунок 1).

Последовавшие затем политические и социально-экономические преобразования отразились на работе транспорта самым негативным образом. За полтора десятилетия общий объем грузовых перевозок в регионе снизился в 2,8 раза, а по внутреннему водному – в 7 раз, что было связано с резким падением спроса на строительные материалы.

В середине 1990-х гг. на базе трех пароходств возникло несколько акционерных обществ со своим транспортным флотом: ОАО «Иртышское пароходство», ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство», ОАО «Тобольский речной порт», ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство», ОАО «Новосибирский речной порт», ОАО «Томская судоходная компания» (на базе Томского речного порта ЗСРП) и ряд других. В бассейне появилось большое число частных судовладельцев. Общий объем перевозок в предкризисный период превышал 21 млн. т. Однако основной объем транзитных перевозок приходится на перечисленные выше шесть открытых акционерных обществ. Наибольший объем перевозок был выполнен ими в 2008 г. – свыше 10 млн. т, но через год произошло снижение объема грузоперевозок до 6 млн. т. В 2010-11 гг. транспортные предприятия в определенной мере восстановили утраченные позиции (таблица 1).

Перечисленные ОАО действуют на одних и тех же направлениях, но в их деятельности имеется определенная специализация. ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» и ОАО «Обь-Иртышское речное пароходство» обеспечивают перевозки сухогрузов (97%), в первую очередь щебня (70% объема перевозок сухогрузов), а ОАО «Иртышское речное пароходство» доставляет нефтегрузы наливом (около 70% общего объема перевозок). ОАО «ОИРП» и ОАО «ИРП» основной объем перевозок осуществляют в пункты Тюменской области. В эксплуатационной деятельности ОАО «ЗСРП» перевозки в пункты Тюменской области по-прежнему значительны. Среди сухогрузов, отправляемых в эти районы, существенное место занимают щебень, шлак, песок (85%), лесные (12%) уголь (более 2%). ОАО «Томская судоходная компания» (ОАО «ТСК») выполняет как транзитные, так и местные перевозки грузов, которые составляют свыше 60% (рисунок 2).

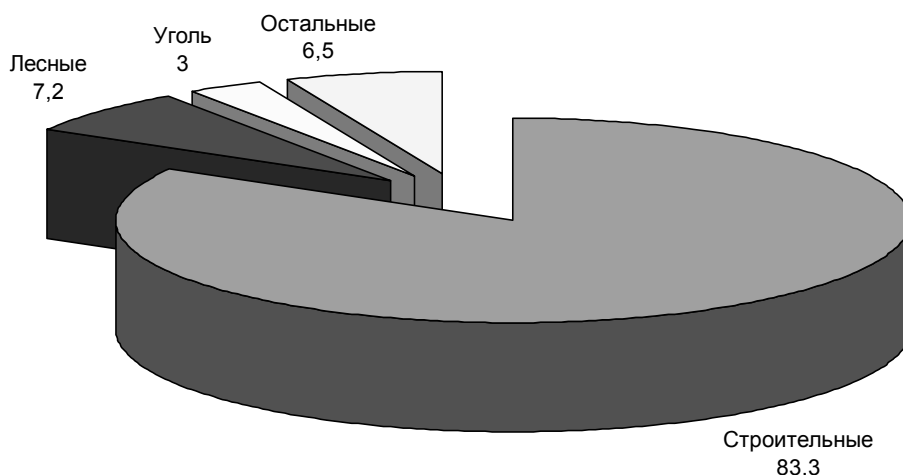


Рисунок 1 – Структура перевозок сухогрузов (1990 г.), %

Таблица 1 – Динамика перевозок грузов основными воднотранспортными компаниями бассейна, млн. т

| Наименование предприятия | 1990 г. | 2000 г. | 2010 г. |
|--------------------------------------|---------|---------|---------|
| Обь-Иртышское речное пароходство | 16,417 | 1,010 | 0,481 |
| Иртышское пароходство | 19,253 | 0,520 | 0,593 |
| Тобольский речной порт | – | 0,800 | 1,182 |
| Западно-Сибирское речное пароходство | 32,571 | 2,230 | 1,855 |
| Новосибирский речной порт | – | 1,370 | 1,112 |
| Томская судоходная компания | – | 1,760 | 3,510 |
| Всего | 68,241 | 7,690 | 8,733 |

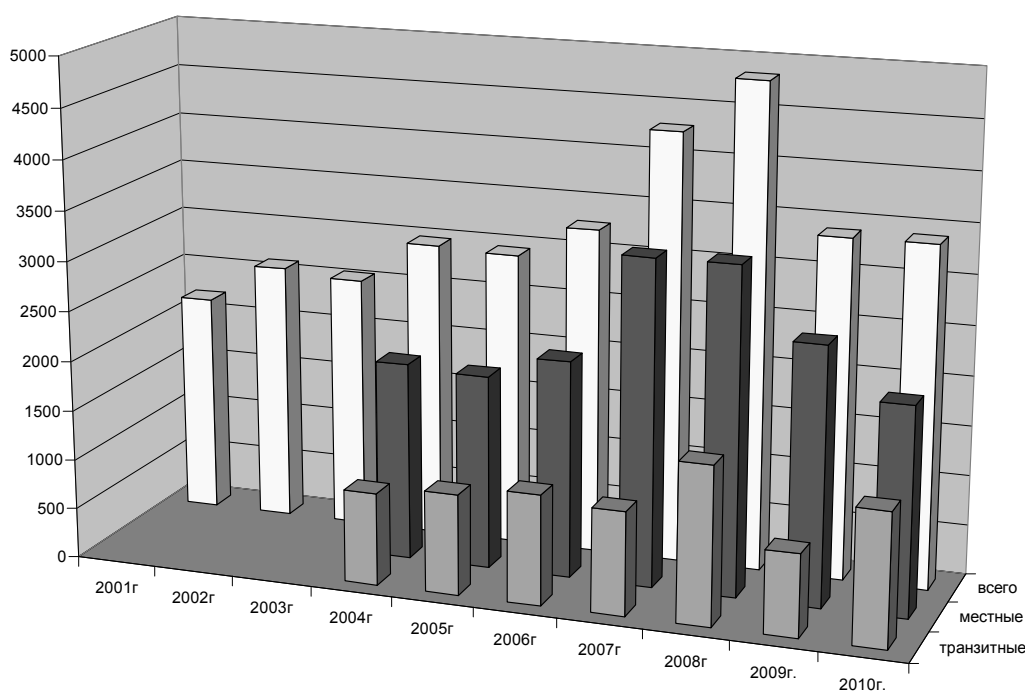


Рисунок 2 – Динамика грузовых перевозок ОАО «ТСК», тыс. т

При этом НСМ собственной добычи, щебень и шлак составляют 95% всех перевозимых ОАО «ТСК» грузов (рисунок 3).

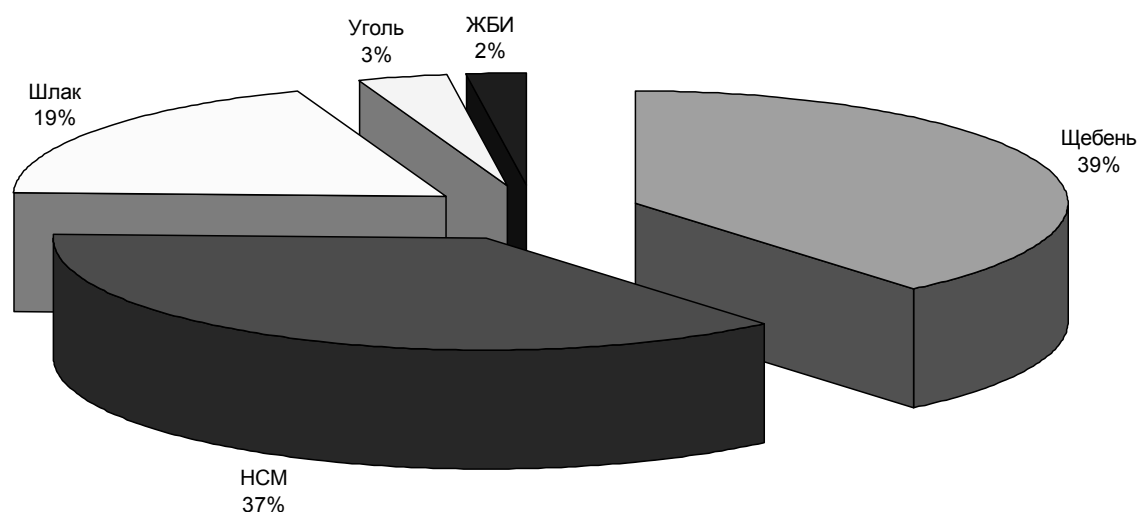


Рисунок 3 – Структура грузовых перевозок флотом ОАО «ТСК»

В ОАО «ТСК» достигнуты положительные финансовые результаты: за 2006-10 гг. средняя прибыль составила свыше 70 млн. руб., рентабельность близка к 13%. Этому способствовала последовательная политика компании по созданию производственно-транспортной и логистической инфраструктуры для производства и доставки потребителям строительных грузов: НСМ и щебня различных фракций.

В Обь-Иртышском бассейне появилась рыночная конкурентная среда, однако зарубежный опыт показывает, что рыночные механизмы не обладают автоматизмом действия и должны быть дополнены регулированием транспортного процесса на принципах эффективной логистики. Это означает, в первую очередь, разработку наиболее рациональных схем производства и доставки строительных грузов, среди которых все большую долю занимает щебень. Укрупненная корреспонденция грузопотоков щебня в Обь-Иртышском бассейне приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Укрупненная корреспонденция грузопотоков щебня

| Пункты назначения (по зонам) | Объем перевозок, тыс. т | Расстояние от перевалочного порта/в целом, км | | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|---|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|
| | | Тобольск | Сургут | Сергино | Омск | Новоси- бирск | Томск |
| Среднего Иртыша | 200 | 820/1376 | 1797/2823 | 1779/2689 | 400/1298 | 3268/3268 | 3046/3046 |
| Нижнего Иртыша | 500 | 350/906 | 627/1653 | 609/1519 | 1570/2468 | 2098/2098 | 1876/1876 |
| Томской области | 300 | 1746/2302 | 771/1797 | 1405/2315 | 2966/3864 | 702/702 | 480/480 |
| Средней Оби | 1000 | 1277/1833 | 200/1226 | 936/1846 | 2497/3395 | 1273/1273 | 1051/1051 |
| ХМАО | 1200 | 651/1207 | 326/1352 | 308/1218 | 1871/2769 | 1797/1797 | 1575/1575 |
| Нижней Оби | 300 | 1530/2086 | 1205/2231 | 571/1481 | 2750/3648 | 2678/2678 | 2334/2334 |
| Итого | 3500 | | | | | | |

В той же таблице указаны расстояния перевозки по водному пути от основных перевалочных портов бассейна, а также общее расстояние доставки, с учетом перевозки по железной дороге. При этом условно принято, что в порты Омск, Тобольск, Сургут, Сергино щебень отправляется со станции Екатеринбург, а порты Новосибирск и Томск отправляют щебень местного производства.

Методика обоснования оптимальных схем доставки давно и хорошо известна [1]. Критерием выступает минимум суммарных издержек по всему ij -му пути доставки k -ми видами транспорта, в данном случае железнодорожным и внутренним водным

$$Z = \sum_i^m \sum_j^n \sum_k^p C_{ijk}^T \cdot X_{ijk} \rightarrow \min ,$$

где C_{ijk}^T – удельные затраты (себестоимость доставки), руб./т;

X_{ijk} – грузопоток, т.

Произведем замену

$$C_{ijk}^T \cdot X_{ijk} = C_{ijk}^{TKM} \cdot X_{ijk} \cdot \ell_{ijk},$$

где C_{ijk}^{TKM} – удельные затраты (себестоимость доставки), руб./т·км;

ℓ_{ijk} – пробег груза, км.

В отличие от железнодорожного транспорта, где можно воспользоваться данными по удельным затратам, руб./т·км, в среднем по сети, на речных перевозках удельные затраты на перевозку существенно зависят от эксплуатационных условий.

Задачу оптимизации схемы доставки целесообразно объединить с обоснованием оптимальных типов речных составов. С этой целью рассмотрены составы из имеющихся в бассейне толкачей и несамоходных судов: 450+2×1000, 600+2800, 600+2×2800, 800+2×2800, 2000+4×2800.

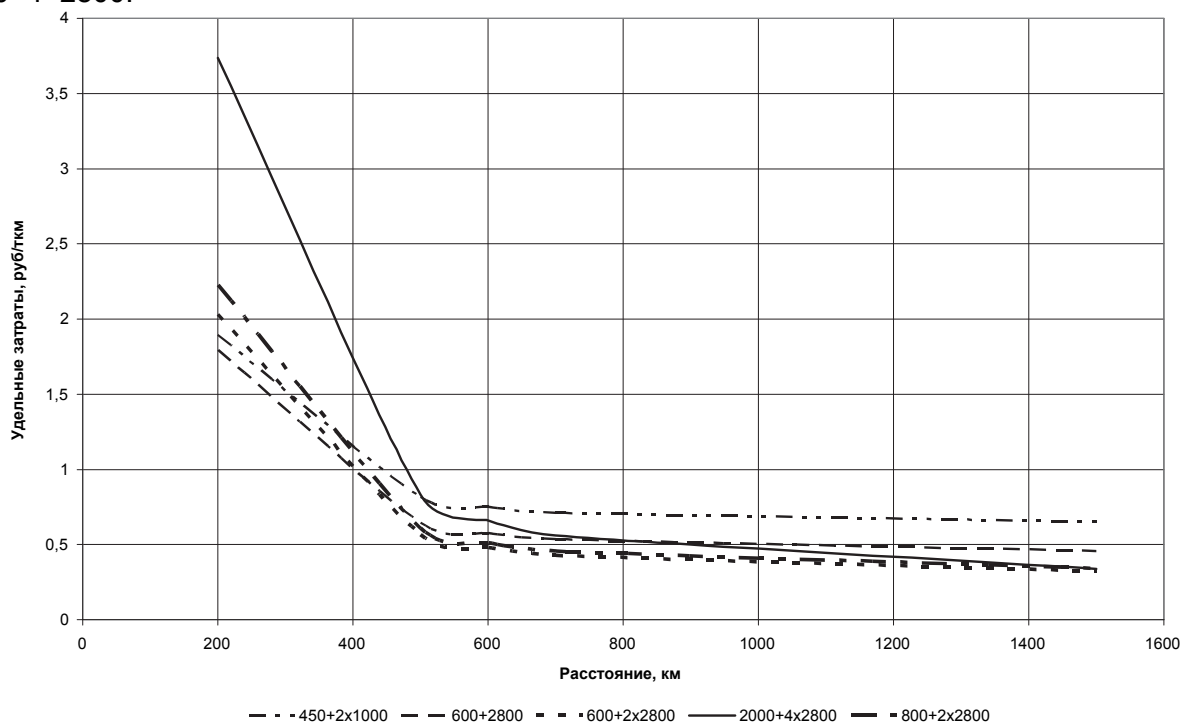


Рисунок 4 – Зависимость удельных издержек от расстояния перевозки

Графики, представленные на рисунке 4, показывают, что на пробеге до 400 км лучшие экономические показатели имеет состав 600+2800. На пробеге свыше 400 км наиболее эффективны составы 600+2×2800. Состав 2000+4×2800 сравнивается с ними по эффективности на пробеге свыше 1500 км. Таким образом, при наличии достаточных глубин для освоения заданных грузопотоков можно использовать всего три состава, что соответствует требованиям типизации и унификации [2].

Сами же значения удельных затрат в руб./т·км при перевозке в указанных составах отличаются незначительно. К тому же, как показывает анализ данных последних лет, железнодорожный и внутренний водный транспорт практически сравнялись по показателю удельных затрат (себестоимости перевозок). В связи с этим в обоснованиях, которые носят предварительный характер, удельные затраты C_{ijk}^{TKM} можно считать постоянными, а критерий «минимум затрат на перевозку» заменить критерием «минимальный грузооборот». На наш взгляд, это гарантирует большую объективность выводов, чем стремление к точности, практически недостижимой в реальных условиях.

Иными словами, следует стремиться к минимальной величине среднего пробега. По данным последних лет, средняя величина пробега на перевозках сухогрузов в бассейне составляла 750 км, в том числе, на перевозках щебня – 700 км.

Согласно оптимальному плану щебень должен доставляться из Омска в пункты Среднего Иртыша (200 тыс. т), из Тобольска – в пункты Нижнего Иртыша (500 тыс. т), из Томска – в пункты Томской области (300 тыс. т), из Сургута – в пункты Средней Оби (1000 тыс. т), из Сергино – в пункты ХМАО и Нижней Оби (1500 тыс. т). Общий грузооборот минимален и со-

ставляет 1210,9 млн. т·км, средний пробег сокращается до 346 км, то есть вдвое по сравнению с существующей схемой.

Однако следует учесть ряд обстоятельств, прежде всего: характер сложившихся транспортных связей, развитие соответствующей инфраструктуры, уровень технологической культуры. В связи с этим в рациональной схеме (таблица 3) грузопоток щебня перераспределен в пользу Тобольска и Томска, ставшими в последние годы основными центрами отправления щебня в транзит.

Таблица 3 – Рациональная схема доставки

| отправления | Пункты назначения(по зонам) | Масса перевозок, тыс. т | Расстояние по водному пути, км | Грузооборот, млн. т·км | Оптимальный тип состава |
|-------------|-----------------------------|-------------------------|--------------------------------|------------------------|-------------------------|
| Омск | средний Иртыш | 200 | 400 | 80000 | 600+2800 |
| Тобольск | нижний Иртыш | 500 | 350 | 175000 | 600+2800 |
| | ХМАО | 1000 | 651 | 651000 | 600+2×2800 |
| Томск | Томская область | 300 | 480 | 144000 | 600+2800 |
| | средняя Обь | 300 | 1051 | 315300 | 600+2×2800 |
| Сургут | средняя Обь | 700 | 200 | 140000 | 2000+4×2800 |
| Сергино | нижняя Обь | 300 | 571 | 171300 | 600+2800 |
| | ХМАО | 200 | 308 | 61600 | 600+2800 |
| Итого | | 3500 | 497 | 1 738 200 | – |

Рациональная схема существенно уступает оптимальной в части «лишних» пробегов с грузом, в то же время они могут быть в определенной степени компенсированы, ведь качество транспортного обслуживания определяется не только экономическими факторами. По сравнению же с существующей схемой обеспечивается сокращение грузооборота и среднего пробега с грузом на 40%.

В связи с запредельным износом транспортного флота и падением глубин возникает вопрос о перспективных типах толкачей и барж. Проведем оптимизацию мощности толкачей в условиях их наиболее эффективной эксплуатации: нагрузка составляет 7 т/л.с., пробег с грузом равен 1000 км, а грузоподъемность несамоходных судов коррелирует с мощностью буксирных.

На рисунке 5 представлены результаты расчета удельных издержек по буксирным судам мощностью 450, 600, 800, 1200, 1500 и 2000 л.с в зависимости от глубины судового хода.

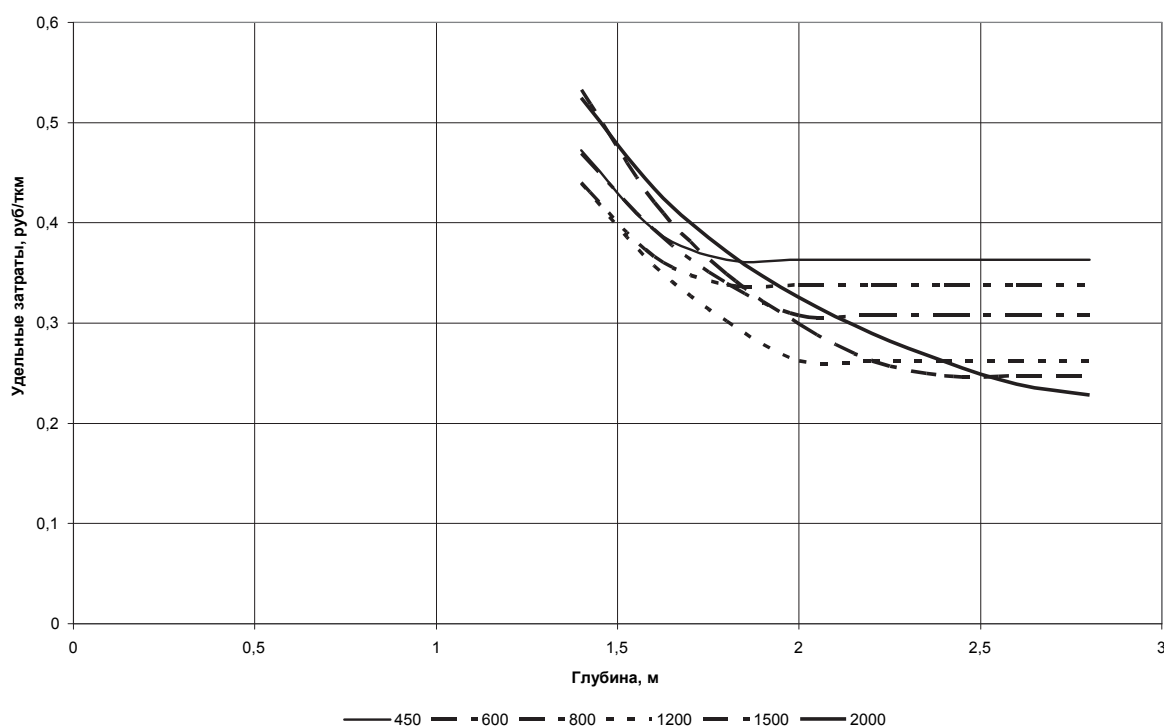


Рисунок 5 – Зависимость удельных издержек от глубины судового хода (буксирные суда)

В соответствии с графиком при глубинах до 1,5 м наиболее эффективен толкач мощностью 600 л.с., от 1,5 до 2,2 м – мощностью 1200 л.с., от 2,2 до 2,5 м – мощностью 1500 л.с. и на глубинах более 2,5 м – толкач мощностью 2000 л.с. Поскольку зона эффективности толкача мощностью 1200 л.с. наиболее широка, то этот проект представляется наиболее перспективным для нового судостроения.

Для обоснования оптимальной грузоподъемности приняты суда грузоподъемностью 1000, 1500, 2000, 2500 и 2800 т. Наиболее перспективным представляется проект судна грузоподъемностью 2500 т с осадкой 2,2 м. Состав 1200+4×2500 может оказаться наиболее эффективным на перевозках массовых грузов в Обь-Иртышском бассейне на средние и дальние расстояния.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Савин, В.И. Оптимизация работы флота / В.И. Савин. -М.: Транспорт, 1974. -210 с.
2 Никифоров, В.С. Методические основы оптимизации проектных решений / В.С. Никифоров, О.И. Осипов, Л.Н. Федоров //Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С. 35-38.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *грузовые перевозки, речной бассейн, транспортный флот, эффективность*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент, проректор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Никифоров Владимир Семенович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Субботин Юрий Афанасьевич, канд. экон. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Елисеева Дарья Александровна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Кравчук Анастасия Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Чикулаева Наталья Викторовна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ ANTI-КРИЗИСНЫХ ПОДХОДОВ К РЕГУЛИРОВАНИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ «ГОРОД-ГРАДООБРАЗУЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

П.В. Буковинин

THE THEORETICAL-METHODOLOGICAL BASES OF FORMATION OF ANTI-CRISIS APPROACHES TO THE REGULATION OF SOCIO-ECONOMIC PROCESSES IN THE SYSTEM OF «CITY-FORMING ENTERPRISE»
Siberian state transport university
P.V. Bukovinin

The article considers the mechanism of anti-crisis regulation of socio-economic processes in the system of «city-forming enterprise», objects, and methods of management, and the relationship of the crisis phenomena and socio-economic processes, responsibilities and tasks of the subjects of management.

Keywords: financial streams, crisis, enterprise, methods, income, financial analysis, liquidity, surplus, investors, creditors

Рассмотрен механизм антикризисного регулирования социально-экономических процессов в системе «город-градообразующее предприятие», объекты и методы управления, взаимосвязь кризисных явлений и социально-экономических процессов, сферы ответственности и задачи субъектов управления.

Процессы разгосударствления и приватизации в современной России не смогли обеспечить социальную защищенность населения. Особенно остро эта проблема затронула города, на территории которых находятся градообразующие предприятия, так как город и градообразующие предприятия образуют собой единую социально-экономическую систему. Особый интерес к взаимоотношению городов и градообразующих предприятий возник после финансово-экономического кризиса 2008 г., и по сей день данный вопрос является актуальным.

Антикризисные подходы регулирования процессов в системе «город-градообразующее предприятие» предполагают рассмотрение трех взаимосвязанных проблем:

1 Описание субъекта, объекта и предмета регулирования социально-экономических процессов.

2 Взаимодействие государственных органов, региональной администрации, муниципалитетов с собственниками градообразующих предприятий.

3 Раскрытие механизма регулирования социально-экономических процессов в системе

«город-градообразующее предприятие».

Субъекты управления воздействуют на объект посредством реализации набора управленческих функций. *Объектом регулирования (управления)* являются подсистемы «город» и «градообразующее предприятие». Рассмотрим субъекты и их функции [4].

Государственные (федеральные) органы власти формируют государственную экономическую, налоговую и промышленную политику, направленную на поддержку моногородов.

Администрация регионов обеспечивает реализацию государственной политики на уровне регионов с учетом размещения градообразующих предприятий в регионе.

Органы местного самоуправления сотрудничают с администрацией градообразующего предприятия и совместно разрабатывают и реализуют антикризисные муниципальные программы.

До недавнего времени теоретический аппарат данной проблемы ограничивался уточнением только статуса предприятия – «градообразующее» – он определен в Федеральном законе «О несостоятельности (банкротстве)». Статья 169 трактует градообразующие предприятия следующим образом:

«... градообразующими организациями признаются юридические лица, численность работников которых составляет не менее двадцати пяти процентов численности работающего населения соответствующего населенного пункта» [2]. То есть критерием отнесения предприятия в градообразующему, является только критерий численности, и то, определяемый на момент банкротства. В Налоговом кодексе содержится косвенное указание и на другой критерий – наличие на балансе предприятия объектов инфраструктуры. Так, согласно статье 275.1, абз. 10 Налогового кодекса РФ, «налогоплательщики, которые являются градообразующими организациями ... и в состав которых входят структурные подразделения по эксплуатации объектов жилищного фонда, а также объектов жилищно-коммунального хозяйства и объектов социально-культурной сферы, вправе принять для целей налогообложения фактически осуществленные расходы на содержание указанных объектов» [1].

В связи с наличием расхождений в определениях статуса градообразующих предприятий, автором предлагается следующее определение градообразующего предприятия:

Градообразующее предприятие – это юридическое лицо, численность работников которого составляет не менее двадцати пяти процентов численности работающего населения, оказывающее влияние на социально-коммунальную сферу и инженерную инфраструктуру пункта размещения посредством реализации имущественных прав, или административных рычагов воздействия.

Относительно недавно было введено и уточнение статуса города – города, в которых размещено градообразующее предприятие, стали называть моногородами (то есть монопрофильными городами). Понятие монопрофильного города – города, с размещенным в нём предприятием (или несколькими предприятиями, технологически связанными между собой) – является более объёмным, и уже характеризует город и предприятие как систему.

Предметом управления являются социально-экономические процессы, происходящие в системе «город-градообразующее предприятие»

Социально-экономические процессы — это социальные процессы, вызванные экономическим неравенством социальных субъектов. Следует отметить, что устоявшейся общепризнанной классификации социально-экономических процессов в настоящее время не существует. В контексте данной работы наиболее применимой является классификация: по масштабу влияния на жизнедеятельность социума:

- макроэкономические процессы происходят на уровне государства;
- региональные – на уровне региона;
- локальные – на уровне местного самоуправления;
- микроэкономические – на уровне градообразующего предприятия.

Анализ взаимодействия различных уровней регулирования (управления) предполагает рассмотрение взаимосвязи кризисных явлений с точки зрения социально-экономических процессов в системе «город-градообразующее предприятие».

Экономический кризис – это кризис, обусловленный разбалансировкой производства и потребления. Как правило, кризис экономический порождает кризис социальный. Социальные кризисы возникают при обострении противоречий или столкновении интересов различных социальных групп и являются как бы продолжением кризисов экономических. Кризисные явления в экономическом положении градообразующего предприятия непосредственно негативно отражаются на многих аспектах жизни местного населения, вызывая, в свою оче-

редь ряд кризисных явлений социального характера. Причины кризисных явлений в системе «город-градообразующее предприятие» представлены в таблице.

Таблица – Взаимосвязь кризисных явлений и социально-экономических процессов в системе «город-градообразующее предприятие»

| Факторы (причины) кризиса на градообразующем предприятии | Экономические последствия для градообразующего предприятия | | Экономические последствия для моногорода | Социальные последствия для моногорода | | |
|---|--|---|---|---|---|--|
| Использование моноресурса и высокая зависимость от отраслевых рынков | низкая конкурентоспособность по ценам | ухудшение финансово-экономического состояния градообразующего предприятия | сокращение численности трудоустроенного населения | снижение платежеспособного спроса | | |
| Удаленность от рынков сбыта | | | | | высокие издержки на сбыт продукции | сокращение социальных программ |
| Традиционно сложившаяся в советский период социальная ответственность | | | | | конфликт интересов собственников, работников и населения города | деструктивные изменения социальной и инженерной структуры территории |
| Форма собственности | государственная собственность | низкий уровень менеджмента | | рост безработицы и социальной напряженности | | |
| | частная собственность | высокая зависимость от собственников | | | | |

Данная таблица позволяет четко сгруппировать причины, явления и последствия кризиса на уровне элементов системы и определить ответственность субъектов регулирования (управления) социально-экономических процессов в системе «город-градообразующее предприятие» (рисунок).

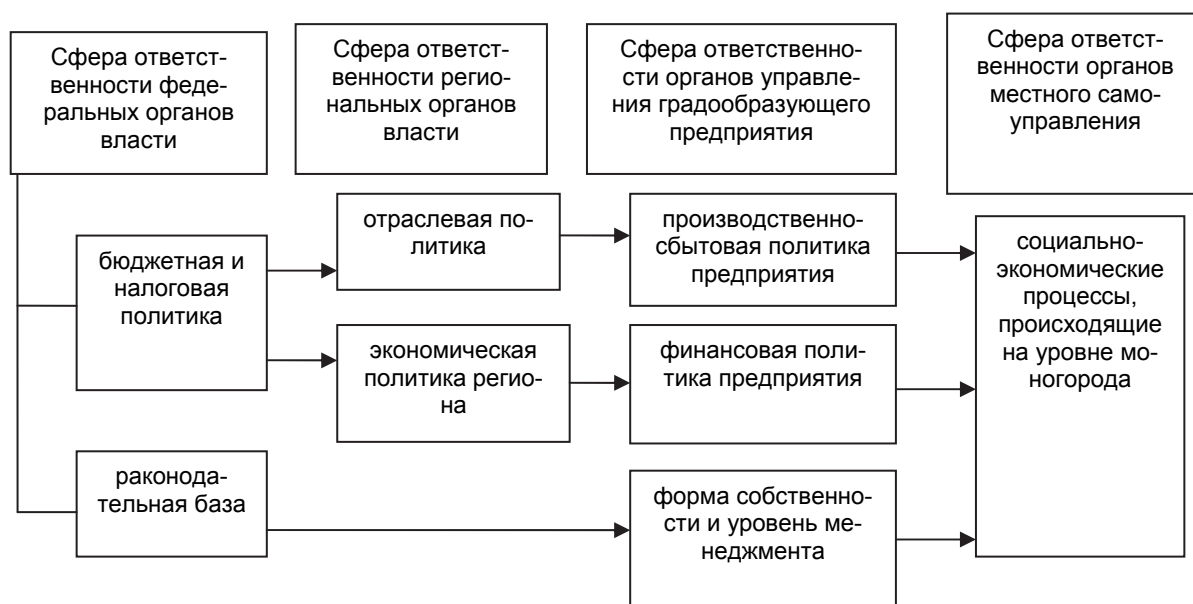


Рисунок – Сферы ответственности субъектов регулирования социально-экономических процессов

Регулирование социально-экономических процессов в системе «город-градообразующее предприятие» предполагает использование мирового опыта, согласно которого есть два пути решения проблемы:

- 1 С высокой степенью государственного вмешательства.
- 2 С невысокой степенью государственного вмешательства.

Первый метод требует серьезных финансовых вложений и временных затрат [5].

При невысокой степени государственного вмешательства собственники предприятия преследуют только свои экономические интересы. Активно продвигавшаяся в начале ре-

форм идея акционирования градообразующих предприятий, потерпела фиаско. Новые владельцы предприятий зачастую, вместо того, чтобы модернизировать производство, повышать конкурентоспособность продукции и содействовать развитию города, стремились, напротив, «выжать из предприятия все соки», а затем обанкротить [3].

Основой эффективного антикризисного управления является рациональное сочетание двух направлений.

По мнению автора, эффективной формой собственности для градообразующих предприятий является частная форма собственности с государственным участием. В данном случае государственное участие должно ограничиваться региональным уровнем. Это позволит исключить:

– «дистанционное управление» из Федерального центра, когда проблемы предприятия и города рассматриваются удаленно;

– злоупотребления со стороны органов местного самоуправления, которые могут использовать рычаги административного влияния для давления на собственников предприятия.

При этом, федеральные органы власти должны обеспечить реализацию функции контроля – контролировать сбалансированность интересов частного инвестора и общественных интересов.

Задачи субъектов управления по решению проблем моногородов можно дифференцировать следующим образом, в зависимости от уровня управления.

Федеральные государственные органы управления:

– формируют законодательную базу, которая определяет правовое поле функционирования системы «город-предприятие»;

– формируют основные положения государственной политики;

– определяют комплекс федеральных преференций для инвесторов с целью улучшения инвестиционного климата в регионах.

Региональные органы управления:

– формируют план действий по сохранению и развитию монопрофильных населенных мест, расположенных на территории данного субъекта РФ;

– разрабатывают и реализуют региональные подпрограммы развития и обустройства территорий моногородов и поселков городского типа;

Муниципальные органы управления:

– определяют план действий по преодолению кризисной ситуации в моногороде с учетом всех возможностей муниципальной власти, и с привлечением возможностей градообразующего предприятия (предприятий);

Только после рассмотрения всех особенностей отрасли, региона и предприятия должны применяться соответствующие методы государственного антикризисного регулирования: финансовая поддержка, государственные гарантии, субсидирование, реструктуризация налоговой задолженности, государственный заказ, налоговая и тарифная политика, институциональные меры поддержки.

Залогом успешной реализации мероприятий антикризисного управления в системе «город-градообразующее предприятие» служит четкое разделение ответственности между разными уровнями власти, взаимодействие города и предприятия на локальном уровне, а также наличие контроля со стороны федеральных органов власти.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Налоговый кодекс Российской Федерации. Ч.2: в ред. федер. закона №117-ФЗ 05.08.00
- 2 О несостоятельности (банкротстве): федер. закон №127-ФЗ от 26.10.02: ред. от 27.12.09.
- 3 Предложения Союза малых городов РФ по решению проблем моногородов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <http://www.smgrf.ru/materials/>
- 4 Мескон, М. Основы менеджмента /М. Мескон, М. Альберт, Ф. Хедоури. -М.: Дело, 1997. -704 с.
- 5 Крюкова, О.Г. Моногорода: выход из тупика [Электронный ресурс] / О.Г. Крюкова, Е.В. Арсенова//Экономика плюс. - Режим доступа: <http://econ-plus.ru/node/120>. -22.10.2012 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *финансовые потоки, кризис, предприятие, методы, доход, финансовый анализ, ликвидность, профицит, инвесторы, кредиторы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Буковнин Павел Витальевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СРОКОВ РАБОТЫ СУДОВ НА ПРИТОКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ РЕК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.Г. Синицын

DEFINITION OF TERMS OF PROBABILITY OF VESSELS IN THE INFLOW OF MAIN RIVER

Novosibirsk state academy of water transport

M.G. Sinitsyn

The article describes a technique to determine the transport capacity of waterways sites. The graphs fluctuations in water levels of rivers Big Pit and Vasyugan. The scheme determining the elements of the design of the working period of unloading of the various schemes for the transport of goods.

Keywords: water levels, working period, fleet, cargo, ship, a small river, waterway

Изложена методика по определению транспортных возможностей участков водных путей. Построены графики колебания уровней воды рек Большой Пит и Васюган. Составлена схема определения элементов расчетного рабочего периода пункта выгрузки для различных схем перевозок грузов.

При планировании и организации перевозок грузов важное место отводится определению возможностей транспортного использования конкретных рек. Основными характеристиками при определении которых являются гарантированные габариты судового хода. Для больших и малых рек этого показателя не достаточно, так как на практике дополнительно еще используют «глубину судового хода, гарантирующую работу флота в полноводный период навигации» [5].

Методика по определению транспортных возможностей участков водных путей может состоять из следующих этапов:

1 устанавливаются кривые связи уровней воды и глубин на участках конкретной реки по данным ГБУВПиС;

2 определяют уровни воды, соответствующие глубинам различных классов классификации рек;

3 определяются повторяемость и обеспеченность (продолжительность) стояния уровней различных классов и строятся их графики;

4 выявляется характер изменения глубин, продолжительность их стояния с учетом определенных классов на основе графиков колебания уровней воды за характерные по водности годы;

5 строится типовой график колебания уровней воды с распределением их на классы (рисунок 1).

С помощью графиков повторяемости и обеспеченности уровней (глубин) устанавливается продолжительность использования судов с различной осадкой на данном участке малой реки. По типовым графикам определяются вероятные сроки работы флота, интенсивность и характер изменения классности уровней и соответствующих им глубин.

Кроме этого, с помощью разработанных методических подходов можно определить следующие элементы вероятностных сроков работы флота:

- характерные периоды работы судов на малой реке;
- интенсивность спада глубин на различных участках водного пути;
- изменение классности реки по глубине судового хода в течение всей физической навигации;

- рациональные типы судов для перевозок в определенный период навигации;
- продолжительность использования судов с различной осадкой на конкретном участке реки;

- характер изменения глубин за характерные по водности годы: маловодный, средний по водности, многоводный (рисунок 2);

- составные элементы расчетного рабочего периода пунктов погрузки и выгрузки с учетом различных видов взаимодействия малотоннажного и крупнотоннажного флота;

- режим работы судов;

- возможности использования вида взаимодействия малотоннажного и крупнотоннажного флота.

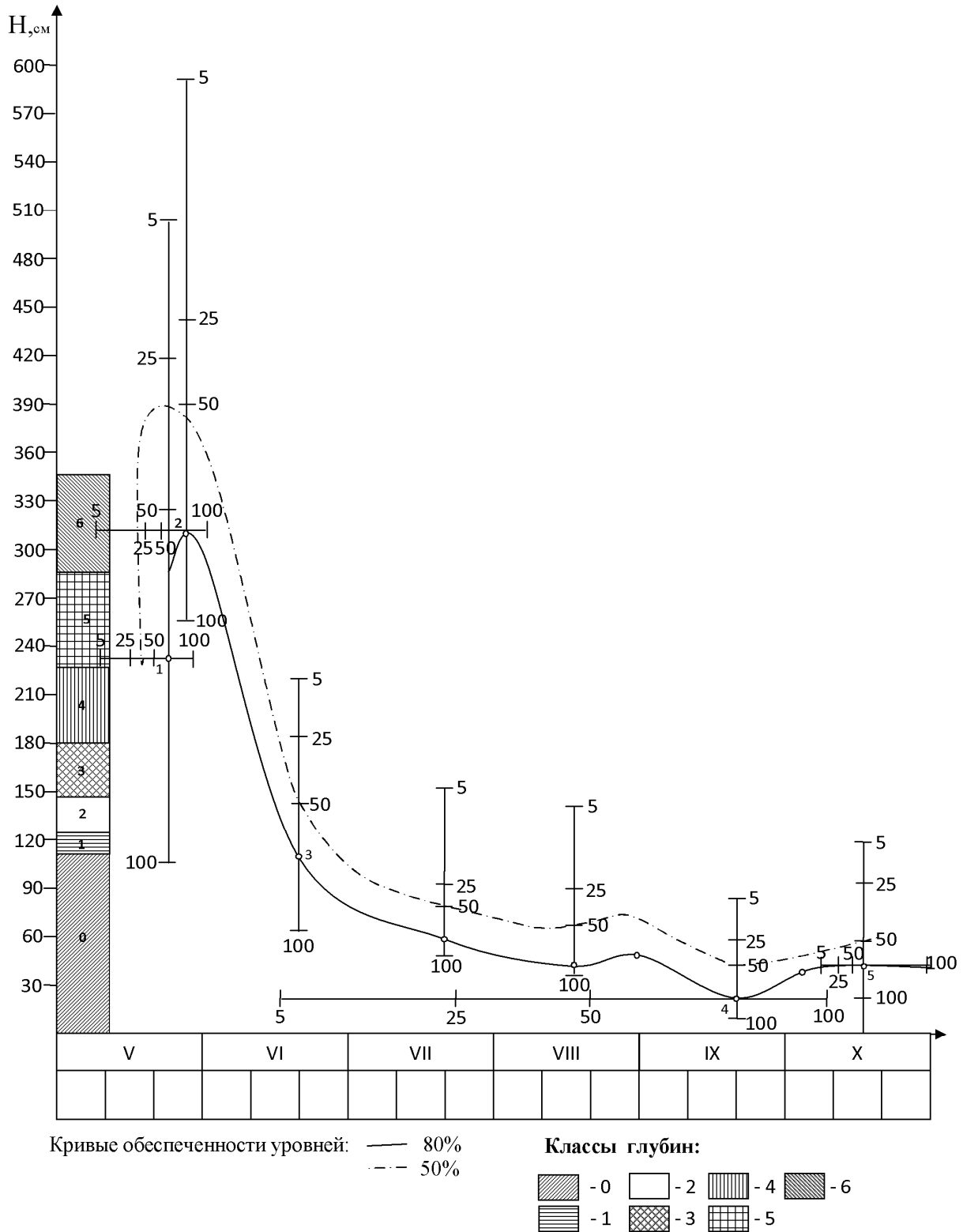


Рисунок 1 – Типовой график колебания уровней воды реки Большой Пит по данным водомерного поста Брянка. Характерные точки уровней воды: 1-конец весеннего ледохода; 2- наивысший уровень половодья; 3-конец весеннего половодья; 4-наинизший навигационный; 5-начало осеннего ледохода

При этом подбор судов необходимо осуществлять с учетом классности участков рек по различным параметрам (глубине, ширине и радиусу закругления судового хода).

Форма выбора организации судоходства должна быть увязана с последовательностью чередования фаз водного режима рек:

- работа флота по существующему графику движения;
- работа однотипных судов по ступенчатому графику;

- одновременная работа флота различной грузоподъемности (параллельная работа транспортных средств);
- работа судов различной грузоподъемности по ступенчатому графику.

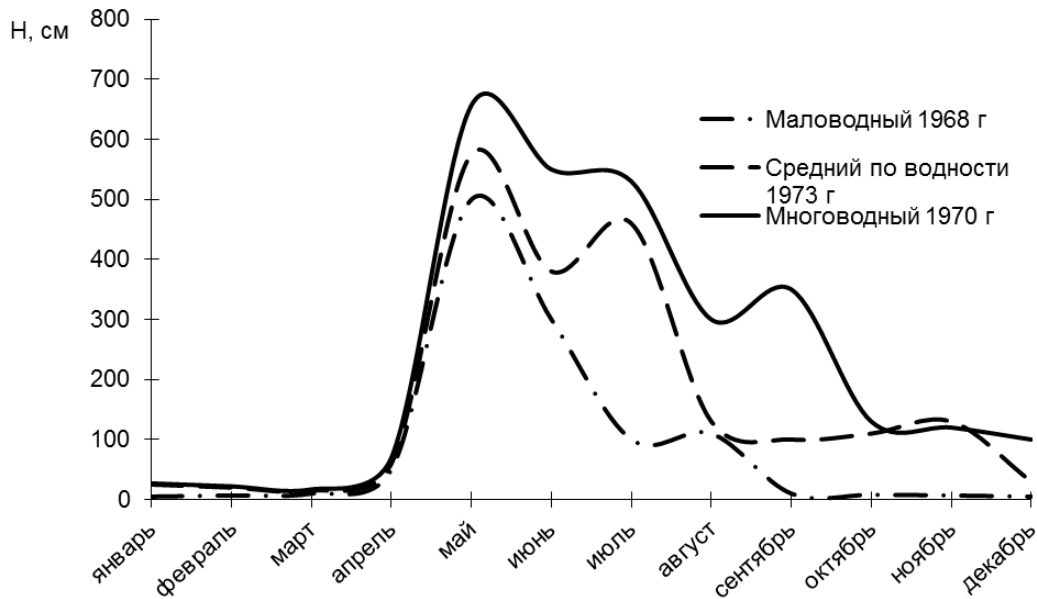


Рисунок 2 – График ежедневных колебаний уровней воды в маловодный, средний по водности и многоводные годы по водомерному посту Средний Васюган реки Васюган

Исследованиями в определении периода завоза грузов для разных категорий рек занимались многие ученые [1, 2, 4, 6, 7]. Но выше перечисленные факторы в их работах или недостаточно или вовсе не были учтены.

Задача определения периода завоза грузов решается двумя способами: аналитическим и расчетно-графическим. Расчетно-графическое решение поставленной задачи хорошо представлено в работе [3].

Аналитически расчетный рабочий период пункта выгрузки может быть рассчитан по следующей формуле

$$t_{раб}^e = t_3^{i-k} - (D_H^{лим} - D_H^{MP}) - t_{тх.пр}^{маг} - t_{ар.пр}^{маг} - t_{x(e)}^{лим-е} - t_{x_0(e)}^{MP}, \tag{1}$$

- где D_H^{MP} – дата наступления периода возможного захода судна (состава) на малую реку;
- $D_H^{лим}$ – дата прохождения судном (составом) лимитирующего участка на магистрали (морском участке) в начальный (конечный) период навигации;
- t_3^{i-k} – продолжительность стояния глубин определенного класса, определяемая по типовому графику, сут.;
- $t_{тх.пр}^{маг}$ – продолжительность технических операций в промежуточном пункте, сут.;
- $t_{ар.пр}^{маг}$ – продолжительность грузовых операций в промежуточном пункте, сут.;
- $t_{x_0(e)}^{лим-е}$ – путевое время груженого судна от лимитирующего участка до пункта выгрузки на малой реке, сут.;
- $t_{x_0(e)}^{MP}$ – время выхода порожнего (груженого) судна (состава) с малой реки (от пункта выгрузки до лимитирующего участка на малой реке), сут.

Данная формула может быть использована в случае, когда дата периода возможного захода судна на малую реку наступит раньше, чем дата прохождения судном лимитирующего участка на магистрали. В противоположном случае используется следующая формула:

$$t_{раб}^e = t_3^{i-k} - t_{x_0(e)}^{узм-е} - t_{x_0(e)}^{MP}, \tag{2}$$

- где $t_{x_0(e)}^{узм-е}$ – затраты времени на движение груженого судна (состава) по малой реке от его устья до пункта выгрузки на малой реке, сут.

Расчетный рабочий период пункта отправления определяется по следующей формуле

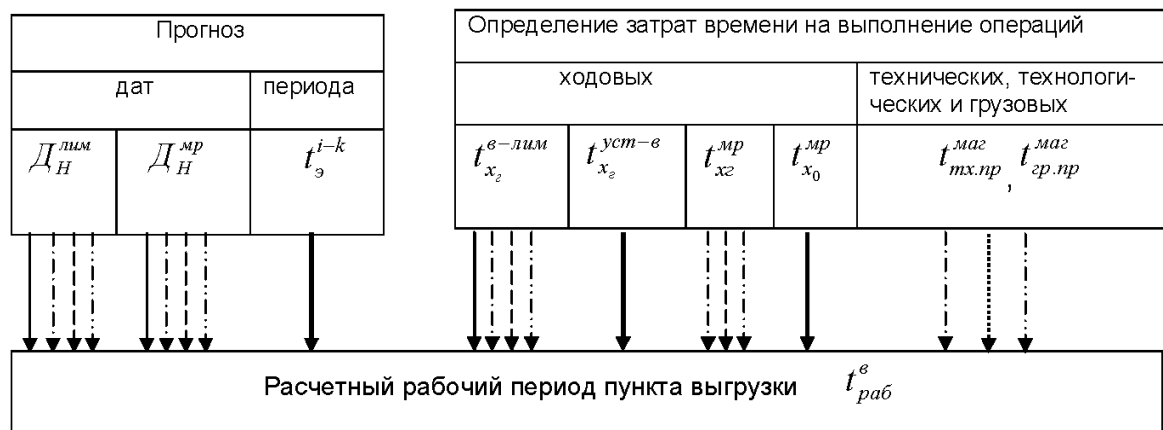
$$t_{роч} = (D_{П}^H - D_{ПГ}^M), \tag{3}$$

- где $D_{П}^H$ – дата отправления из начального пункта на малую реку последнего груженого

судна (состава);

$D_{пг}^M$ – дата постановки под погрузку в начальном пункте (на магистрали) первого судна (состава).

Для выявления транспортных возможностей конкретных малых рек рекомендуется использовать систему связей при определении элементов расчетного рабочего периода пункта назначения с учетом различных схем перевозок грузов (рисунок 3).



Условные обозначения: Схемы перевозок грузов

| | | | |
|--|--|--|--|
| | маршрутная, с участием различных типов флота | | немаршрутная, с перевалкой груза (судно-судно) |
| | немаршрутная, с паузой груза | | немаршрутная, с депонацией груза |
| | немаршрутная, с перевалкой груза (судно-берег-судно) | | все пять схем |

Рисунок 3 – Определение элементов расчетного рабочего периода пункта выгрузки для различных схем перевозок грузов

При установлении рабочего периода пунктов отправления судов следует учитывать, что первое груженое судно (плавучая механизация) должно прибыть к устью малой реки к моменту очищения ее ото льда; последнее груженое судно (плавучая механизация) должно быть отправлено из начального пункта с учетом того, чтобы оно могло разгрузиться в пункте малой реки и выйти на магистраль до момента падения уровней воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Буренок, В.Д. Определение расчетного рабочего периода для условий Обского Заполярья / В.Д. Буренок // Эксплуатация флота и портов: сб. науч. тр. /Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1969. -С. 95-100.
- 2 Кугаевский, А.А. Особенности оценки временного фактора при доставке грузов в районы Северо-Востока / А.А. Кугаевский // Технический прогресс и эффективность производства на Севере (на примере Якутской АССР). -Якутск, 1978. -С. 144-153.
- 3 Маркс, Т.А. Определение периода завоза грузов в пункты малых рек с учетом влияния различных факторов / Т.А. Маркс, Г.Я. Сеницын // Совершенствование работы флота в пароходствах Сибири: сб. науч. тр. / Новосибир. ин-т инженеров вод. трансп. -Новосибирск, 1984. -С. 61-66.
- 4 Пеков, М.С. Исследование методов определения длительности эксплуатационного периода (на примере прибрежных районов Обского Заполярья) / М.С. Пеков // Тр. ЦНИИЭВТ. -М., 1982. -Вып.160. -С. 92-100.
- 5 Методика обоснования схем завоза грузов на малые (боковые) реки на основе выполненных проработок: отчет по НИР. -№ГР 0182.4060861. -Новосибирск: Новосиб. гос. ин-т инженеров вод. трансп., 1983. -173 с.
- 6 Шустров, Д.Н. О возможности прогнозирования продолжительности эксплуатационного периода транспортного флота / Д.Н. Шустров // Тр. ЦНИИЭВТ. -М., 1973. -Вып.91. -С. 14-28.
- 7 Шустров, Д.Н. Обоснование длительности навигации / Д.Н. Шустров, А.С. Фетисов // Реч. трансп. -1964. -№2. -С. 22-25.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: уровни воды, рабочий период, флот, груз, судно, малая река, водный путь
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сеницын Михаил Геннадьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.В. Пивоваров

PASSANGER TRANSPORTATION AS A MANAGEMENT'S SUBJECT

Novosibirsk state academy of water transport

P.V. Pivovarov

Characteristics of river passenger transportation; terms, functions and problems of river passenger transportation's management

Keywords: river transport, passenger transportation, management's subject, functions of management, problems of management

Приведена характеристика речных пассажирских перевозок, рассмотрены понятия объекта, функций и задач управления применительно к пассажирским перевозкам.

Речные пассажирские перевозки в России достигли пика в 1970-гг., когда произошло техническое перевооружение пассажирского флота, повысился уровень доходов населения, работа на пассажирском флоте была экономически привлекательной и престижной. В 1975 г. речным транспортом страны было перевезено свыше 160 млн. пассажиров, при этом более 70% приходилось на РСФСР. В Обь-Иртышском бассейне перевозилось около 10 млн. чел. (свыше 8%). Начиная с 1990 г. идет резкое снижение количества перевозок речным пассажирским транспортом: до 21 млн. чел. в 2005 г. В Обь-Иртышском бассейне перевозится менее 2 млн. чел. [1]. Речной пассажирский флот практически выработал свой ресурс, а рост цен на энергоресурсы сделал речные пассажирские перевозки на многих линиях недоступными для большей части населения даже с учетом государственных субсидий. Стоит вопрос о сохранении речного пассажирского транспорта как отрасли, что требует решения не только технических и финансовых проблем, но также организационно-управленческих и кадровых. Для этого следует рассмотреть пассажирские перевозки в качестве объекта управления.

Объект управления – это социальная система, на которую направлены все виды управленческого воздействия с целью ее совершенствования, повышения качества функций и задач, успешного достижения запланированных целей. Объекты управления характеризуются большим разнообразием. Их можно типологизировать по нескольким основаниям: по масштабам и уровням управленческого воздействия, по видам регулируемой деятельности, по адресату управленческого воздействия и т.д. [2].

В соответствии с основным принципом теории систем объект рассматривается в единстве строения и поведения. Управление объектом должно опираться на законы поведения объекта и вырабатывать эффективные механизмы его организации, функционирования и развития как единого процесса. Применение системного анализа позволяет представить пассажирские перевозки как транспортную систему, однако имеющиеся определения транспортной системы весьма неконкретны: под нею можно понимать все, что угодно, связанное с транспортом [3].

Более конструктивное определение транспортной системы может быть дано на основе логистической концепции и определения логистической системы. Объектом управления в логистической системе является пассажирский поток на всем пути его следования, от возникновения потребности в перевозке до удовлетворения этой потребности. При этом весьма конструктивным служит разделение транспортных систем на два вида: номинальные системы как вся совокупность элементов, связанных с пассажирскими перевозками, и функциональные как совокупность элементов, вовлеченных во взаимодействие для обеспечения пассажирских перевозок в соответствии с количественными и качественными требованиями [4].

Очевидно, что основным качественным требованием является безопасность пассажиров. В соответствии с ФЗ «О техническом регулировании» и «О транспортной безопасности», Указом Президента РФ №403 от 31 марта 2010 г. «О создании комплексной системы обеспечения безопасности населения на транспорте» разрабатываются Технические регламенты и Комплексные системы обеспечения безопасности на речных пассажирских перевозках.

Не менее важное значение имеет качество обслуживания (сервиса). Как гласит извест-

ный принцип, качество обслуживания определяется качеством системы управления. Необходимо новое, современное понимание качества транспортного обслуживания на основе логистической концепции и международных стандартов обслуживания. Модель обслуживания пассажиров включает в себя следующие основные элементы:

- услуги;
- функции;
- исполнители;
- технологии;
- стандарты.

Соответственно актуальной задачей повышения качества пассажирских перевозок служат:

- расширение ассортимента и повышение качества услуг;
- уточнение набора функций и задач, четкое распределение их между исполнителями;
- разработка технологий, стандартов и типовых технологических процессов (ТТП) обслуживания пассажиров.

Логистические услуги по обслуживанию пассажиров можно разделить на три вида: снабженческо-закупочные, транспортные и распределительные. Транспортные услуги в свою очередь делятся на перевозочные и неперевозочные. Перевозочные услуги во многом идентичны обслуживанию клиентов в сфере торговли, гостиничного, страхового, ресторанного бизнеса и т.д., где имеется богатый опыт разработки корпоративных стандартов обслуживания [5].

Большое значение для раскрытия сущности и содержания отношений управления имеет понятие функций управления как результата разделения и специализации труда. Принято различать общие функции управления как типовые элементы управленческого цикла (планирование, организация, учет, контроль и анализ) и конкретные (производственные), классифицируемые по признаку воздействия на деятельность предприятия. Выполнение пассажирских перевозок требует реализации следующих производственных функций:

- основная (перевозки и движение пассажирского флота);
- вспомогательная (обслуживание пассажиров; техническое развитие; социальное развитие; экономическая деятельность);
- обслуживающие (административно-хозяйственная и кадровая деятельность).

Кроме функционального разделения (по горизонтали), необходимо разделение управление по уровням: на стратегический, административный, оперативный. Взаимосвязь уровней и функций управления может быть представлена в виде организационно-функциональной схемы управления пассажирскими перевозками, каждый элемент которой представляет собой управленческую задачу. Перечень функций и задач включается в положения о подразделении и должностные инструкции сотрудников, что позволяет более обособленно решать вопросы создания и совершенствования организационных структур управления предприятиями, осуществляющими речные пассажирские перевозки [6].

Предприятиями, осуществляющими пассажирские перевозки, долгое время служили пароходства, районные управления, порты, пристани, агентства. В XXI веке появились первые специализированные транспортные организации, осуществляющие только пассажирские перевозки. В Сибири такой организацией является ОАО «ПассажирРечТранс» (г. Красноярск), созданное в 2006 г. на базе Красноярского пассажирского агентства – филиала ОАО «Енисейское речное пароходство». Учредителем и 100-процентным владельцем акций является Государственное предприятие «Красноярский центр транспортной логистики». В отличие от других речных транспортных предприятий, ОАО «ПассажирРечТранс» развивается в техническом (на его баланс поступило четыре современных судна) и организационно-экономическом плане (совершенствуется система взаимоотношений с региональными и местными органами власти).

Итоги работы ОАО «ПассажирРечТранс» важны не только для самого предприятия и его владельца, но и для всей отечественной практики организации речных пассажирских перевозок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пивоваров, П.В. Анализ организации пассажирских перевозок в Обь-Иртышском бассейне / П.В. Пивоваров // Современные тенденции функционирования и развития транспортного комплекса Сибири. -Новосибирск, 2012. -С. 76-81.
- 2 Виханский, О.С. Менеджмент: учебник / О.С. Виханский, А.И. Наумов. -М.: Экономист, 2004. -528 с.
- 3 Менеджмент на транспорте: учеб. пособие / Н.Н. Громов [и др.]; под общ. ред. Н.Н. Громова, В.А. Персианова. -М.: Ака-

демия, 2003. -528 с.

4 Никифоров, В.С. Управление грузовыми перевозками: принципы, стандарты, технологии / В.С. Никифоров. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. -205 с.

5 Перфильев, Е.А. Стандарты обслуживания как основа эффективного управления речными пассажирскими перевозками / Е.А. Перфильев, П.В. Пивоваров // Современные тенденции функционирования и развития транспортного комплекса Сибири. -Новосибирск, 2012. -С. 92-97.

6 Совершенствование системы управления речными пассажирскими перевозками / В.С. Никифоров, Е.А. Перфильев, П.В. Пивоваров, Л.Н. Федоров // Реч. трансп. (XXI век). -2012. -№4. -С. 18-21.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *речной транспорт, перевозки пассажиров, объект управления, функции управления, задачи управления*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Пивоваров Павел Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГавТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавТ»*

РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.Н. Кабалин

THE DEVELOPMENT OF THE EMERGENCY RESPONSE OF RAILWAY

Siberian state transport university

O.N. Kabalin

Proposed methods for the automation mode the emergency, with which it is possible to simulate scenarios in an emergency. This makes it possible to take prompt administrative decision.

Keywords: emergency, dangerous goods, information system, management decision

Предложены методы автоматизации режима ликвидации последствий чрезвычайной ситуации, с помощью которых возможно моделировать варианты развития событий в чрезвычайной ситуации. Это дает возможность оперативно принимать управленческое решение.

Вопросам обеспечения безопасности в ОАО «РЖД» уделяется приоритетное внимание. Однако риск возникновения чрезвычайной ситуации (ЧС) на железнодорожном транспорте невозможно свести к нулю в силу ряда причин, таких как сложность технологий, низкая квалификация персонала, стихийные бедствия, терроризм и так далее. Процесс управления ликвидацией ЧС на железнодорожном транспорте требует оперативного решения целого ряда вопросов, причем решения принимать необходимо в кратчайшие сроки. Но на первых этапах ЧС существует большой объем неточной информации. В результате повышается неопределенность в вопросах необходимых темпов ликвидации ЧС и объемов ресурсов.

Согласно статистике в авариях и крушениях на железнодорожном транспорте за 2012 год произошло 14 аварий и катастроф, в которых погиб один человек и пострадало четверо.

Очередным фактором увеличения риска возникновения ЧС является увеличение грузооборота железных дорог России и, как следствие, повышение нагрузки на технические узлы вагонов и рельсошпальной решетки.

По данным [1] наиболее массовые грузы, перевозимые ОАО «РЖД» железнодорожным транспортом, приведены в таблице.

Общеизвестно, что опасные грузы по своим свойствам делятся на девять классов: взрывчатые материалы, газы, легковоспламеняющиеся жидкости, легковоспламеняющиеся твердые вещества, самовозгорающиеся вещества, окисляющие вещества и органические пероксиды, ядовитые вещества, радиоактивные материалы, едкие и коррозионные вещества. Железнодорожным транспортом перевозят много опасных грузов: взрывчатые материалы, бензин,

Таблица – Объем погрузки основных видов груза на железнодорожном транспорте в ноябре 2012 года, млн. т

| Виды грузов | Объем погрузки |
|------------------------------------|----------------|
| Каменный уголь | 27,70 |
| Нефть и нефтепродукты | 22,50 |
| Строительные грузы | 13,30 |
| Руда железная и марганцевая | 9,40 |
| Черные металлы | 5,80 |
| Химические и минеральные удобрения | 3,70 |
| Лесные грузы | 2,60 |
| Цемент | 2,40 |
| Зерно и продукты перемола | 1,80 |
| Руды цветных металлов | 1,70 |
| Лом черных металлов | 1,40 |
| Кокс | 1,00 |

нефть сырая, спирт этиловый, азот жидкий, хлор, природный газ, этилен, пропан, бутан, аммиак, ацетон и многие другие.

Рассмотрим, какие структуры и организации на сегодняшний день участвуют в ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте. На рисунке 1 указан порядок оповещения причастных лиц на железнодорожном транспорте при возникновении критической ситуации в зависимости от ее масштабов.

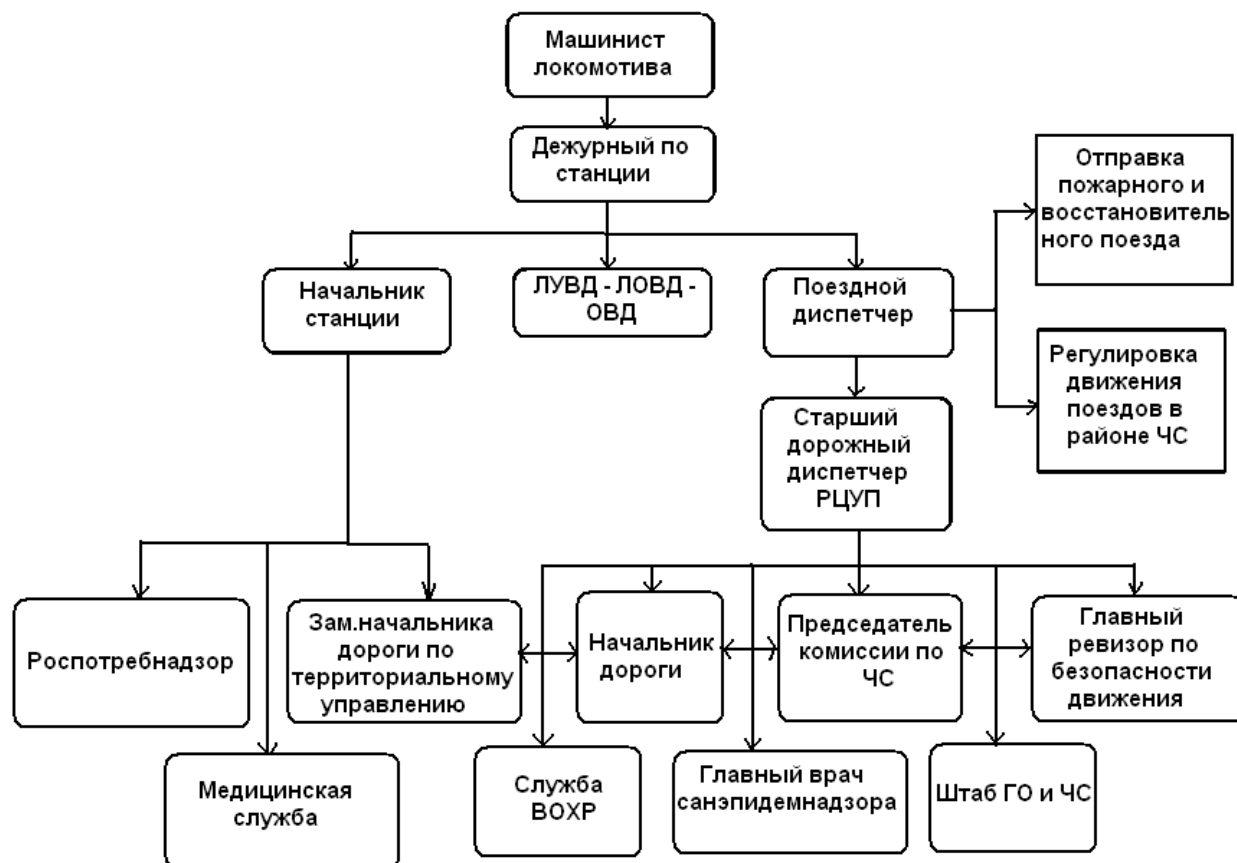


Рисунок 1 – Схема взаимодействия причастных к ликвидации ЧС лиц как есть (as is)

Из рисунка видно, что ключевым звеном оповещения причастных служб, в случае ЧС, является дежурный по станции (ДСП), а далее по цепочке. Старший дорожный диспетчер РЦУП получает данные о ЧС от поездного диспетчера и ставит в известность другие подразделения о произошедшей ЧС. Начальник железной дороги при аварийной ситуации, представляющей угрозу населению или окружающей среде, совместно со специалистами причастных служб должен оперативно разработать план ликвидации аварийной ситуации.

Данная схема оповещения требует доработки, так как для передачи одной и той же информации тратится много времени, все объяснения ситуации, по большей части, происходят по телефону. Необходима информационная система, с помощью которой в случае ЧС можно оповестить сразу всех участников процесса ликвидации.

Рассмотрим, каким образом можно реализовать данную систему на железных дорогах России.

В 2012 году правлением компании была разработана и утверждена концепция создания терминально-логистических центров (ТЛЦ) в России. Реализация проекта обеспечит грузоотправителям возможность построения эффективных мультимодальных маршрутов доставки грузов, а для ОАО «РЖД» привлечет дополнительные грузопотоки.

Важными объединяющими факторами является применение унифицированной технологии переработки грузов, единой тарифной политики и единого информационного пространства. Все это предполагает внедрение корпоративной информационной системы, которая будет своевременно предоставлять информацию о статусе каждой отправки груза, учитывать и контролировать состояние подвижного состава [2].

Планируется строительство 46 крупных ТЛЦ и комплексная реконструкция 60 существующих крупных грузовых дворов. Строительство сети ТЛЦ будет проходить в не-

сколько этапов. В первой очереди 12 ТЛЦ в крупнейших мультимодальных транспортных узлах. Новосибирский ТЛЦ будет формироваться на станции «Клещиха».

Экономический эффект от создания сети ТЛЦ состоит в привлечении на железную дорогу дополнительных грузопотоков с других видов транспорта. Особенностью создания ТЛЦ является формирование единого технологического и информационного пространства всех видов транспорта.

Таким образом, на базе создаваемых ТЛЦ легче поделить зоны ответственности в условиях ЧС, то есть провести районирование. В районе каждого ТЛЦ будут учтены все силы и средства, участвующие в ликвидации ЧС. Это даст возможность создать региональные информационные центры ликвидации ЧС на железнодорожном транспорте (а в будущем – и на других видах транспорта), где лицо принимающее решение (ЛПР) будет взаимодействовать с причастными службами в случае ЧС.

Для повышения конкурентоспособности отраслей и региональной (национальной) экономики необходимо создание универсальной информационной системы для всех видов транспорта.

Приоритетной задачей сегодня становится формирование единого информационного поля и единых правил работы транспортных организаций на рынке [3].

Единая информационная среда (ЕИС) взаимодействия различных видов транспорта необходима для повышения эффективности управления транспортными потоками, а также объединения информационных ресурсов всех участников транспортного рынка, независимо от вида транспорта. В ЕИС необходима не только единая база нормативно-справочной информации транспортной отрасли, но и база данных транспортных потоков регионов. Такой подход положительно повлияет на организацию мультимодальных и международных перевозок, что позволит ускорить и упростить процесс таких перевозок. Так как основа деятельности любой транспортной компании это развитие бизнеса, это даст толчок эффективному развитию транспортной системы и, как следствие, создание качественного механизма взаимодействия между участниками транспортного рынка.

В случае разработки ЕИС в качестве одного из ее модулей необходимо создать функциональный модуль поддержки принятия решений в ЧС (МППР). Неотъемлемой частью такого модуля будет база данных по силам и средствам ликвидации последствий ЧС. Также необходимо создание базы объектов, с повышенным риском возникновения ЧС. Такая информация даст возможность смоделировать различные чрезвычайные ситуации и разработать варианты их предупреждения или ликвидации.

В данном случае ЛПР в зоне ответственности ТЛЦ в случае ЧС взаимодействует с причастными службами и контролирует выполнение следующих процессов: тушение обычных пожаров, восстановление сквозного движения поездов, ликвидация разрушений верхнего строения пути, опор контактных сетей, инфраструктурных сооружений, расчистку завалов, подъем подвижного состава, разделку вагонов.

Также в ходе ликвидации ЧС ЛПР взаимодействует с РСЧС. При этом РСЧС своими силами выполняет следующее: оцепление зоны ЧС, развертывание пунктов управления, организацию связи между подразделениями в месте ЧС, нейтрализацию ядовитых веществ, перекачку жидкостей, сбор и вывоз зараженного грунта, обваловку и засыпку проливов, участие в тушении сложных пожаров, ликвидацию загрязнений местности.

В зависимости от того, в районе какого ТЛЦ произошла критическая ситуация, данных аварийной карточки и количества опасного груза требуется конкретный бизнес-процесс (БП), который регламентирует последовательность действий в произошедшей ЧС. В МППР содержится описание возможных сценариев БП и в случае возникновения ЧС они могут быть отражены на экране. Кроме того в МППР должна содержаться актуальная информация о координатах ответственных лиц и подразделений, причастных к ликвидации ЧС в конкретном регионе, аварийные карточки на каждый опасный груз, в которых указаны свойства груза, их пожаро- и взрывоопасность, опасность для жизни людей, действия при возникновении аварийной ситуации и порядок ликвидации ее последствий.

С этого момента начинается отсчет нормативного времени на выполнение каждого БП, по окончании которого ответственные лица докладывают ЛПР о результатах.

Как только все БП будут выполнены, ЧС будет ликвидирована и движение поездов наладится, лицо принимающее решение (ЛПР) может подвести итоги работы по каждому БП о поощрении или наказании ответственных лиц.

На рисунке 2 изображена необходимая схема взаимодействия причастных к ликвидации

ЧС лиц в случае автоматизации процесса на основе специализированной информационной системы.

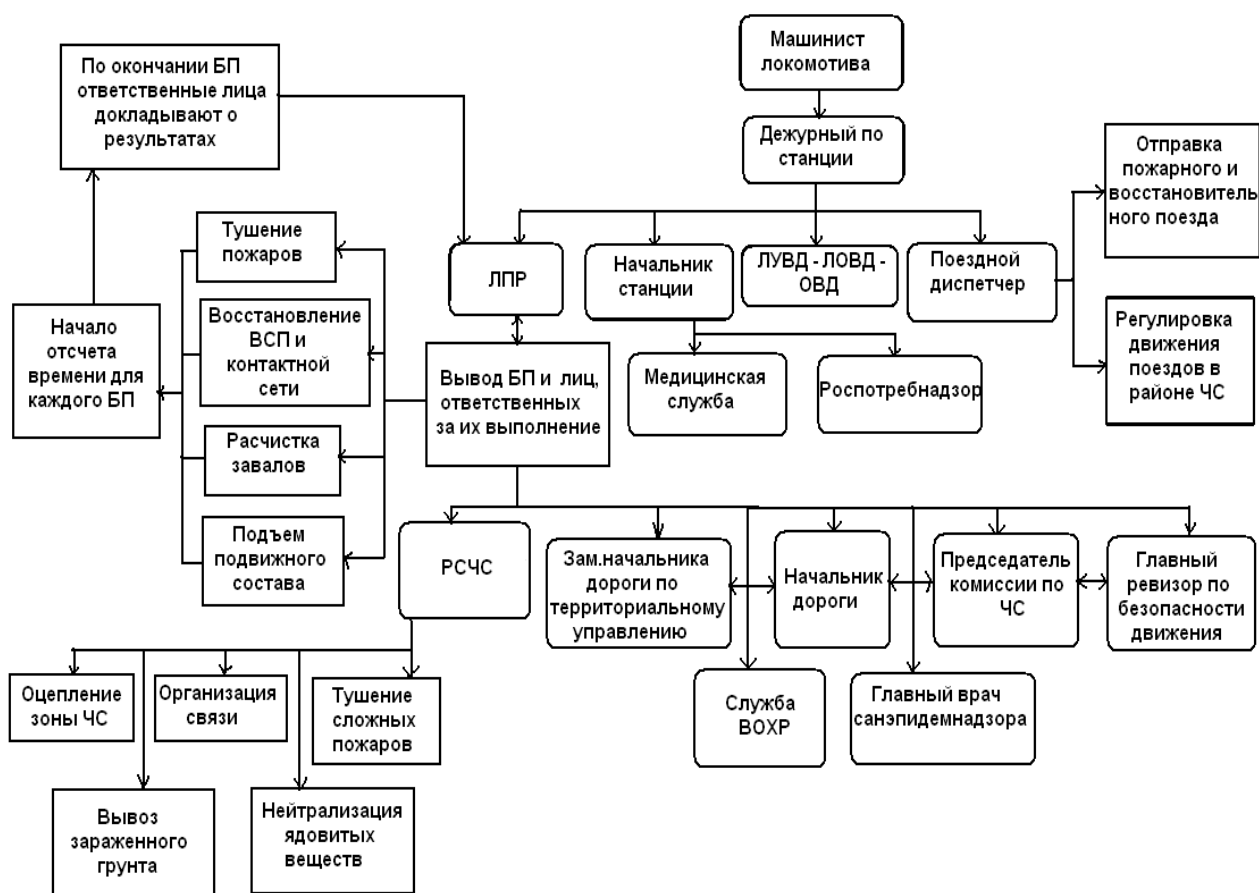


Рисунок 2 – Перспективная схема взаимодействия причастных к ликвидации ЧС лиц на основе модуля МППР (as to be)

Информационная поддержка управления по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций связана с обработкой больших массивов пространственно-временных и предметно-ориентированных данных. Современные информационные технологии предоставляют широкие возможности представления и обработки таких данных с помощью электронных карт. Предполагается создание модуля МППР в качестве геоинформационной системы (ГИС). В основе разработки геоинформационной системы используются векторные и растровые электронные карты [4].

Для железнодорожного транспорта это означает, что благодаря четкой организации действий по ликвидации последствий и восстановлению движения поездов значительно снизится величина ущерба и сроки ликвидации ЧС, что может привести к большому экономическому эффекту.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Статистика транспорта. Объем погрузки основных видов грузов на железнодорожном транспорте в ноябре 2012 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL:http://www.transgarant.com/rus/press/statistics_transportation/487/. -11.04.2013.
- 2 Михайлов, М. Суммирующий эффект / М. Михайлов // Транссиб. -2013. -№10. -С. 7.
- 3 Мишарин, А.С. Информационно-навигационное обеспечение транспортного комплекса – задача первостепенной важности / А.С. Мишарин // Трансп. Рос. Федерации. -2007. -№11. -С. 4.
- 4 Автоматизированная информационно-управляющая система единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.arspas.ru/mchs/spravochnik/2/aius.php>. -14.07.2012.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: чрезвычайная ситуация, опасные грузы, информационная система, управленческое решение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Кабалин Олег Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ

Красноярский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Д.В. Еремеев

ON THE QUESTION OF THE RELATIONSHIP OF INNOVATION POTENTIAL OF THE COMPANY AND ITS COMPETITIVENESS

Krasnoyarsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport

D.V. Eremeev

In this article the basic directions of innovative development company in order to enhance its competitiveness. Presented by the author's understanding of the interaction of competitiveness and innovation capacity of the enterprise.

Keywords: innovation, innovative development, enterprise competitiveness, innovation potential

Рассмотрены основные направления инновационного развития предприятия в целях повышения его конкурентоспособности. Представлено авторское понимание взаимодействие конкурентоспособности и инновационного потенциала предприятия.

Передовая зарубежная и отечественная практика доказала, что в настоящее время основополагающими факторами развития любой хозяйственной системы являются инновационные, в числе которых – новая техника, системные технологии нового типа, новая организация труда и производства, новая мотивационная система [1]. Научно-технический прогресс определяет все стороны функционирования предприятия. Развитие науки и техники неразрывно связано с понятием инновации.

Существует множество направлений инновационного развития предприятия [2, 3] для повышения его конкурентоспособности:

- повышение эффективности работы предприятия: более низкие, чем у ближайших конкурентов производственные издержки, более высокий уровень развития, более высокий уровень системы продвижения продукции;

- инновации производственной продукции, ориентация на ее высокое качество по меньшим, чем у конкурентов, ценам, на более дифференцируемые товары, сокращение времени обновления ассортимента и вида продукции;

- функциональные инновации для завоевания устойчивых позиций в мировых торговых цепочках;

- временной интервал инновационного лага у предприятия меньше, чем у конкурентов.

Учитывая стратегию перехода России на инновационный путь развития, ключевая роль в обеспечении конкурентоспособного развития предприятий, достижении положительной динамики качественных и количественных изменений предприятия отводится именно повышению инновационного потенциала, который характеризует создание наукоемких технологий, обновление производственной базы, освоение выпуска качественно новых, инновационных товаров и услуг, использование нововведений, взаимодействие с научными организациями. Рассмотренные предпосылки позволяют выделить инновационный потенциал в качестве базисного фактора конкурентоспособного развития предприятия.

В рамках глобальной конкуренции производственно-экономических систем инновационный потенциал рассматривается как - важнейшее средство воздействия на динамику производительных сил и поэтому составляет «базис» для повышения конкурентоспособности предприятия. Учет потенциальных возможностей, связанных с освоением передовых достижений науки и техники различными звеньями общественного производства, определяет ближайшие и перспективные задачи повышения эффективности народного хозяйства, обеспечения конкурентоспособности российских предприятий, обновления выпускаемой готовой продукции в соответствии с новыми стандартами производственного и непроизводственного потребления. Именно трансформация и рекомбинация внутренних и внешних факторов, а точнее нововведения (инновации), как наиболее перспективный вид изменений, который вносит наибольший вклад в повышение эффективности, могут служить базисом для повышения конкурентоспособности предприятия.

К результатам инновационного процесса можно отнести новые продукты (услуги), технологии, формы и методы управления, причем наличие новизны фиксируется со стороны

потребителя. Инновационный потенциал [4] обладает свойством концентрировать и направлять разные процессы, происходящие при развитии предприятия, и именно нововведения подходят под роль базисного элемента развития предприятия. Причем необходимо учитывать, что для практического применения в качестве базиса повышения конкурентоспособности необходима динамическая система развития инновационного потенциала. Данная система должна позволять объективно соизмерять темпы развития предприятия (динамику предприятия) и показатели его конкурентоспособности. Важным моментом является то, что современные стратегии экономического развития предполагают переход от реактивного развития (реакция на изменения среды) к концепции активного развития – развитие посредством инноваций (не только реакция на изменение среды, а активная адаптация к будущим изменениям, а также формирование этих будущих изменений). В связи с этим стремительно возрастает влияние повышения инновационного потенциала на развитие организаций, так как все меньше и меньше остается возможности у организаций реагировать существующими способами и видами продуктов на будущие изменения во внешней среде. Другим важным моментом конкурентного развития предприятия является то, что повышение инновационного потенциала не только способ реагирования на изменения внешней среды, но также и инструмент планирования, который позволяет формировать будущее. Современные тенденции показывают возможность не только реагировать на изменения внешней среды, но и воздействовать на нее путем формирования новых рынков. Увеличить предел существования организации можно в результате системной инновационной деятельности, рассматривая инновационный потенциал как систему управления, осуществляющую координацию отношений между внутренней и внешней средой и использующую изменения для своей выгоды как фактор новых возможностей и обеспечения устойчивого развития. Таким образом, существует обоснованность и необходимость использования инновационного потенциала в качестве базисного фактора конкурентного развития предприятия. Модель взаимосвязи конкурентоспособности наукоемкого предприятия и его инновационного потенциала заключается в использовании в качестве базиса развития инновационный потенциал, который для обеспечения развития конкурентоспособности необходимо осуществлять в темпе, превышающем рыночный, в рамках ресурсных возможностей предприятия с учетом циклического характера спроса и динамичности изменения ресурсопотребления в процессе освоения инноваций (рисунок).

В свою очередь, существует определенная методическая сложность в определении уровня конкурентоспособности отдельных предприятий.

В рамках системного подхода оценка конкурентоспособности рассматривается в условиях сложной структуры. С учетом целевой направленности рассматриваемые показатели разбиты на три категории: показатели входного воздействия,

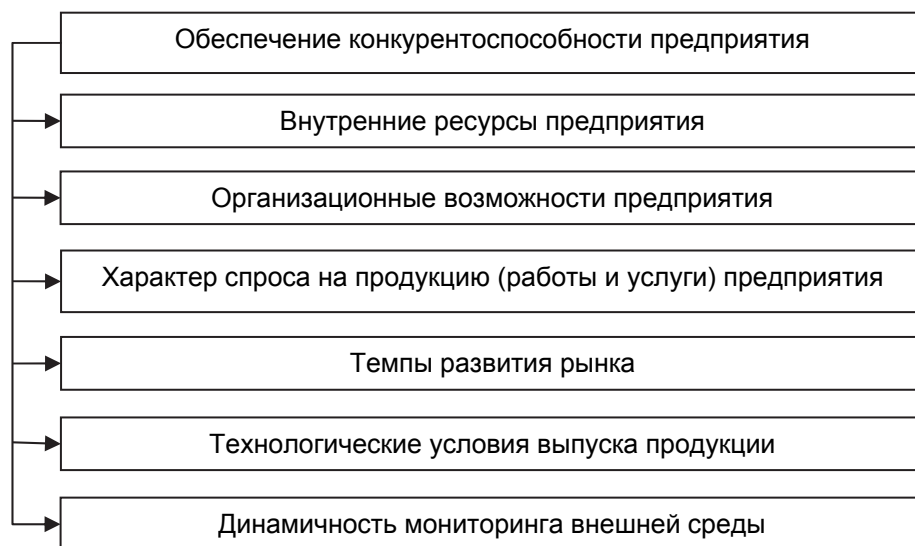


Рисунок – Составляющие конкурентоспособности предприятия

показатели состояния, показатели управления. Первые характеризуют человеческую деятельность, процессы и характеристики, которые влияют на инновационное развитие наукоемкого предприятия. Вторые характеризуют текущее состояние различных аспектов инновационного развития. Третьи – индикаторы реагирования, позволяющие осуществлять выбор среди нескольких альтернатив, как способ реагирования для изменения текущего состояния. Критерием выбора является изменения конкурентоспособности предприятия.

В условиях рыночных отношений промышленному предприятию необходимо осуществлять непрерывную инновационную деятельность, которая обусловлена поддержанием конкурентного статуса, а также природой и характером его функционирования, когда в условиях

научно-технического прогресса происходит износ и старение основных производственных фондов, применяемых технологий, организационных и управленческих структур.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Багриновский, К.А. Механизмы технологического развития экономики России / К.А. Багриновский, М.А. Бендиков, Е.Ю. Хрусталева. -М.: Наука, 2003.
- 2 Еремеев, Д.В. Основные подходы к воспроизводству активной части основных фондов на наукоемком предприятии / Д.В. Еремеев, М.Ю. Лукичев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 119-122.
- 3 Еремеев, Д.В. Основные факторы развития инновационного потенциала наукоемкого предприятия / Д.В. Еремеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 54-57.
- 4 Инновационный потенциал: современное состояние и перспективы развития: монография / В.Г. Матвейкин, С.И. Дворецкий, Л.В. Минько, В.П. Таров, Л.Н. Чайникова, О.И. Летунова. -М.: Машиностроение-1, 2007. -284 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *инновации, инновационное развитие, конкурентоспособность предприятия, инновационный потенциал*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Еремеев Дмитрий Викторович, канд. экон. наук, доцент КИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *660025, г.Красноярск, пер.Якорный, 3, КИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

НЕЧЁТКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ

**ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»**

Н.А. Седова

FUZZY SYSTEM FOR FINDING THE DEGREE OF INFLUENCE OF SHALLOW WATER

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

N.A. Sedova

To determine the effect of shallow water developed an intelligent system based on fuzzy logic, which includes two input linguistic variables, such as the depth and speed of the vessel, and one output - the degree of influence of shallow water. This paper presents the fuzzy sets, the corresponding terms of linguistic variables.

Keywords: fuzzy system, linguistic variable, depth, speed, shallow water

Для определения степени влияния мелководья разработана интеллектуальная система на базе нечёткой логики, включающая в себя две входные лингвистические переменные, такие как глубина и скорость движения судна, и одну выходную – степень влияния мелководья. В работе представлены нечёткие множества, соответствующие термам указанных лингвистических переменных.

При управлении морским (речным) судном необходимо учитывать условия, влияющие на управляемость судна. К таким условиям можно отнести мелководье, ледовые условия, условия ограниченного фарватера и др. Увеличение сопротивления воды во время плавания на мелководье происходит при некоторых критических скоростях движения судна. Возникновение критической скорости судна может быть для него опасным, так как при этом происходит уменьшение запаса воды под днищем, и у судна может измениться качество управляемости. Для определения степени влияния мелководья предложена интеллектуальная система на базе нечёткой логики (нечёткая система), состоящая из двух входных и одной выходной лингвистических переменных. Разработанная нечёткая система, базирующаяся на исследованиях [1], пригодна в качестве одного из модулей интеллектуальной системы управления движением судна.

Нечёткая система определения степени влияния мелководья

Для разработки указанной нечёткой системы выбран программный продукт WinFACT фирмы Kahlert [2, 3], обладающий широкими возможностями по разработке интеллектуальных систем на базе нечёткой логики.

Нечёткая система определения степени влияния мелководья [1] состоит из двух входных лингвистических переменных (глубина и скорость движения судна), одной выходной лингвистической переменной – степени влияния мелководья. В настоящей нечёткой системе для задания крайних термов предложено использовать линейную Z-образную и линейную S-образную функции принадлежности, для остальных – трапециевидные [4]. Базовое термножество первой входной лингвистической переменной «глубина» H состоит из пяти термов: очень малая, малая, средняя, выше среднего и большая, – соответствующие нечёткие множества представлены на рисунке 1.

Вторая входная лингвистическая переменная «скорость движения судна» V_s состоит из трёх термов: малая, средняя, высокая, – нечёткие множества представлены на рисунке 2.

Выходная лингвистическая переменная «мелководье», определяющая уровень влияния мелководья Y , который оценивается от нуля до пяти, при этом нулевой уровень соответствует глубокой воде $H > 3T$ (где T – осадка судна), нечёткие множества, соответствующие термам этой лингвистической переменной, показаны на рисунке 3.

Система нечётких продукций нечёткой системы определения уровня влияния мелководья состоит из 15 правил, матричный и табличный вид которых представлен на рисунках 4 и 5 соответственно.

В качестве метода нечёткого логического вывода используется метод Мамдани [4], который получил широкое распространение из-за простоты и удовлетворительного качества нечётких систем управления на его основе.

Графическое представление трехмерной поверхности нечёткого логического вывода разработанной НЧС представлено на рисунке 6, а в виде контурных линий – на рисунке 7.

На рисунке 8 представлен процесс опытной эксплуатации разработанной нечёткой, включающий max-конъюнкцию и min-дизъюнкцию, а в качестве метода дефаззификации – метод центра тяжести.

Разработанная нечёткая система определения степени влияния мелководья может стать основой при разработке различных нечётких и нейронечётких интеллектуальных систем, использующихся в судовождении и обеспечивающих безопасное мореплавание.

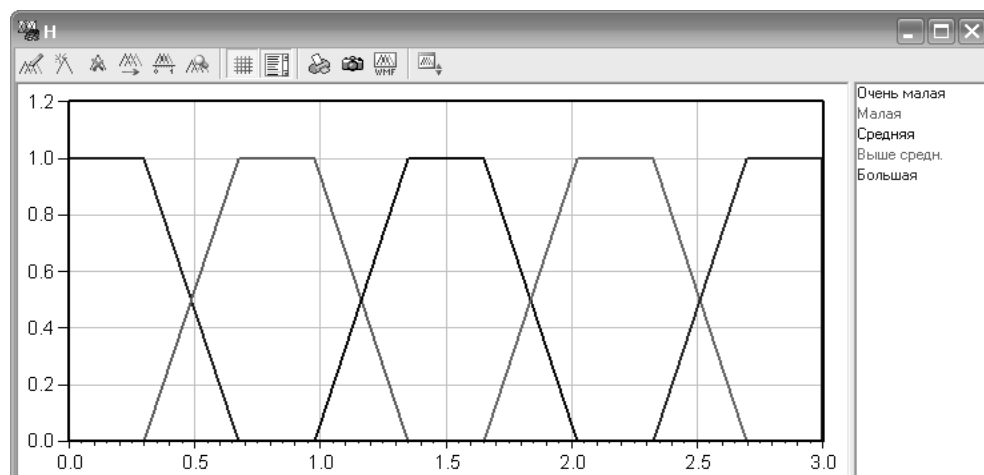


Рисунок 1 – Термы первой входной лингвистической переменной «глубина»

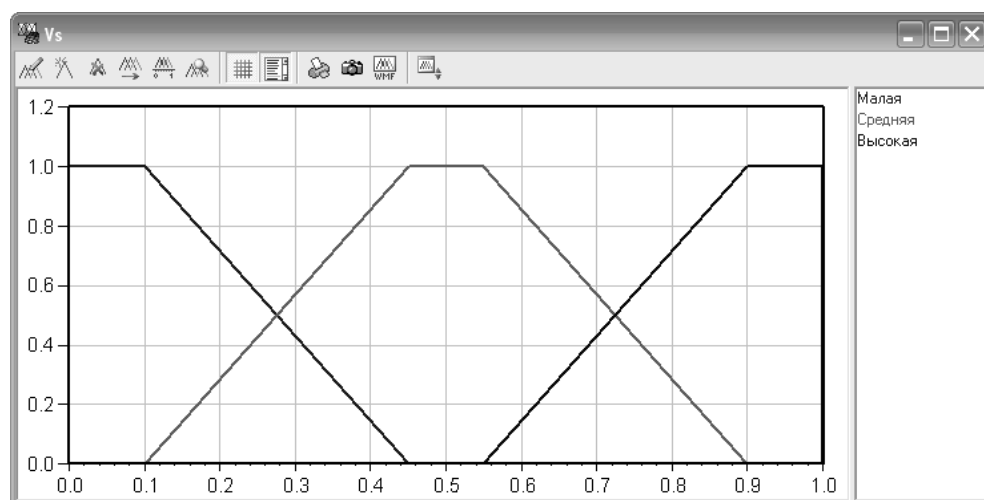


Рисунок 2 – Термы второй входной лингвистической переменной «скорость движения судна»

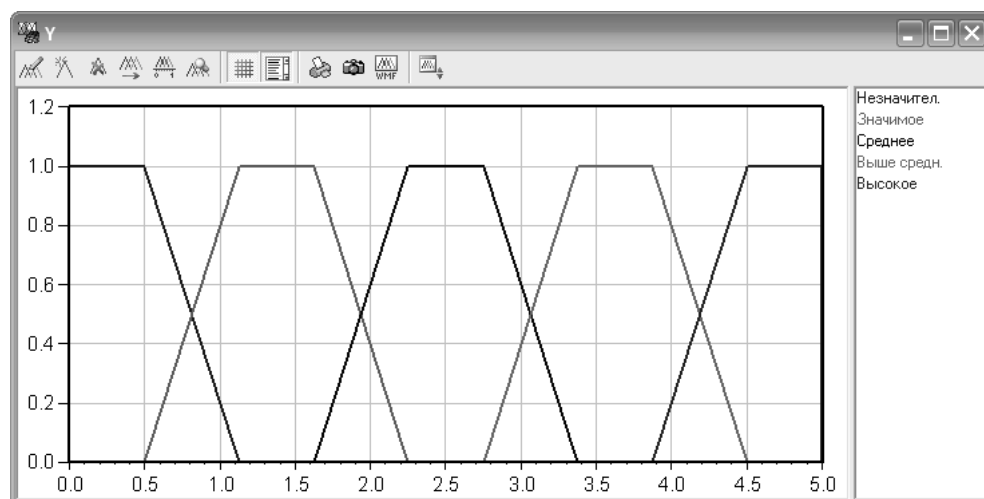


Рисунок 3 – Термы выходной лингвистической переменной «мелководье»

| | | | | | |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | Очень малая | Малая | Средняя | Выше средн. | Большая |
| Малая | Среднее | Среднее | Значимое | Незначител. | Незначител. |
| Средняя | Выше средн. | Выше средн. | Среднее | Значимое | Незначител. |
| Высокая | Высокое | Высокое | Выше средн. | Выше средн. | Среднее |

Рисунок 4 – Система нечётких продукций в виде матрицы

| | Vs | H | Y | Weighting/% |
|---|---------|-------------|-------------|-------------|
| 1 | Малая | Очень малая | Среднее | 100 |
| 2 | Малая | Малая | Среднее | 100 |
| 3 | Малая | Средняя | Значимое | 100 |
| 4 | Малая | Выше средн | Незначител. | 100 |
| 5 | Малая | Большая | Незначител. | 100 |
| 6 | Средняя | Очень малая | Выше средн | 100 |
| 7 | Средняя | Малая | Выше средн | 100 |
| 8 | Средняя | Средняя | Среднее | 100 |

Рисунок 5 – Система нечётких продукций в виде таблицы

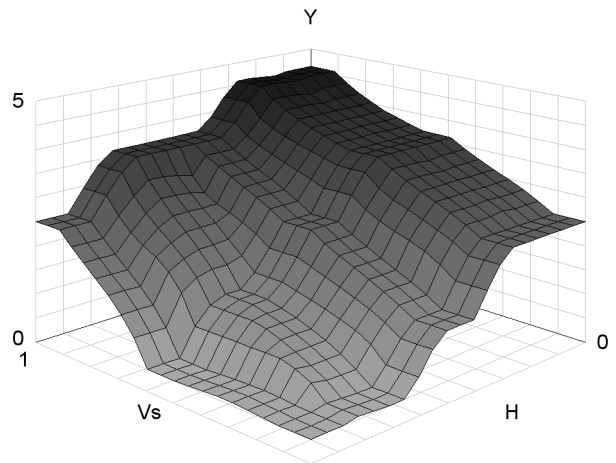


Рисунок 6 – Трёхмерная поверхность системы нечёткого вывода

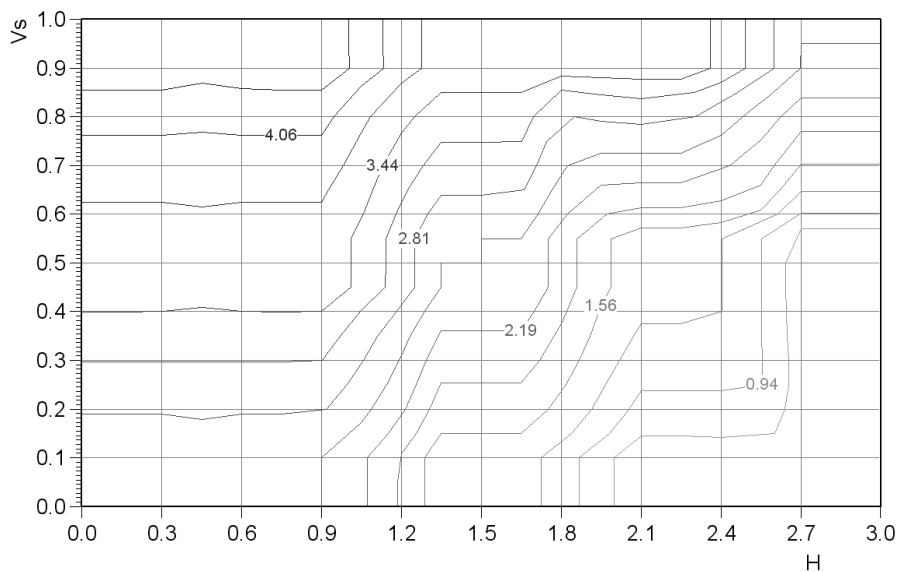


Рисунок 7 – Графическое представление в виде контурных линий

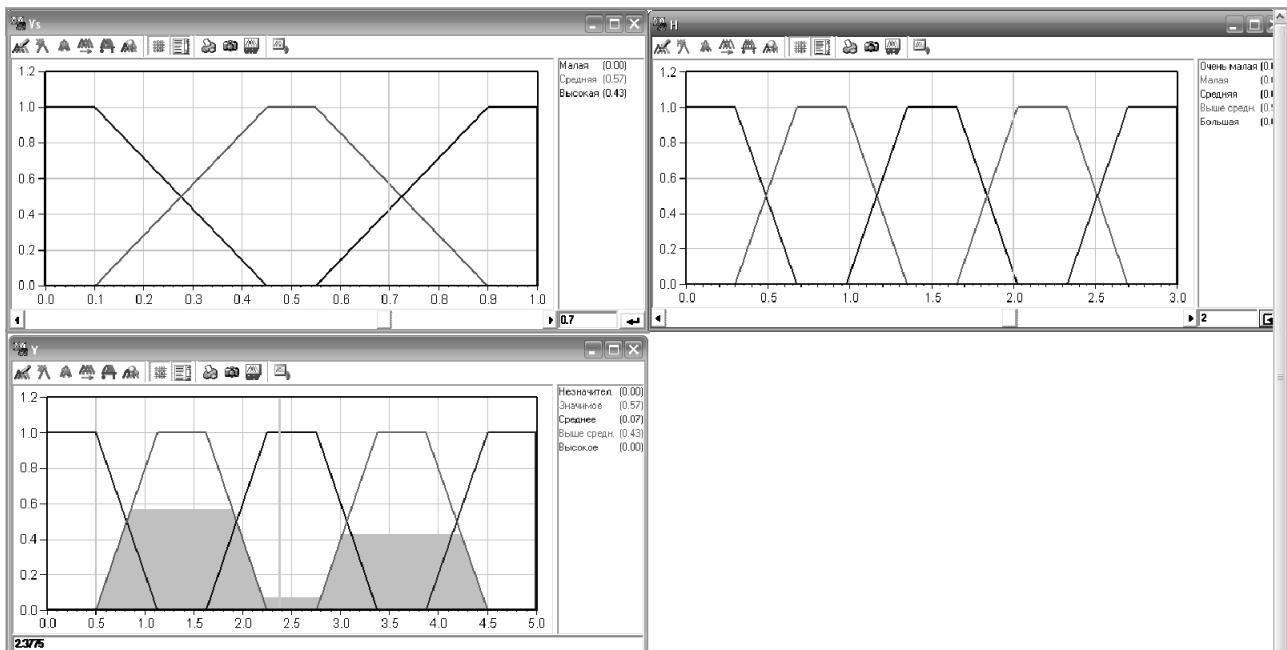


Рисунок 8 – Опытная эксплуатация нечёткой системы определения уровня влияния мелководья

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Студеникин, Д.Е. Прогнозирование параметров движения судна на основе нечёткой логики: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.22.19 / Студеникин Дмитрий Евгеньевич; ФБОУ ВПО «Гос. мор. ун-т им. адм. Ф.Ф. Ушакова». -Новороссийск, 2012. -24 с.
- 2 Designing fuzzy systems. Продукция фирмы Kahlert [Электронный ресурс]. -Загл. с экрана. -Режим доступа: http://www.kahlert.com/web/english/e_fuzzyneuro.php.
- 3 Седова, Н.А. Разработка интеллектуальных систем на базе нечеткой логики в WinFact: метод. указания к лаб. работе / Н.А. Седова, В.А. Седов. -Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2012. -26 с.
- 4 Леоненков, А.В. Нечёткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 736 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нечеткая система, лингвистическая переменная, глубина, скорость движения, мелководье
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Седова Нелли Алексеевна, научный сотрудник ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКАМИ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.В. Кабалина

MANAGEMENT OF FREIGHT TRAFFIC ON THE RAILWAY NETWORK
Siberian state transport university
A.V. Kabalina

The article discusses the optimal regulatory option of loading the appointments, which can provide a cost-effective resistance in the most important areas of the railway network of the country.

Keywords: railway transportation, loading, repetition range, turn the car, journey time, management, car fleet management efficiency

Рассмотрен оптимальный вариант регулирования погрузки по назначениям, способный обеспечить с наименьшими затратами устойчивость в работе важнейших направлений сети железных дорог страны.

Анализ объемов грузоперевозок в Российской Федерации показывает, что на современном этапе значительную долю самых востребованных на рынке перевозок грузов занимают нефтепродукты, доля которых в общем объеме перевозок составляет 21%. В их транспортировке задействованы многие виды транспорта. Это обусловлено не только высокой доходностью перевозок, но и их ведущим местом нефти в мировом топливно-энергетическом балансе всех стран.

В связи с интенсивным развитием в мире химической и нефтехимической промышленности потребность в нефти увеличивается не только с целью повышения выработки топлива и масел, но и как источника ценного сырья для производства синтетических каучуков и волокон, пластмасс, смазочных масел и др. Нефть уникальна именно комбинацией качеств: высокая плотность энергии, ее легко транспортировать (по сравнению с газом и углем), из нефти легко получить массу вышеупомянутых продуктов. Теплотворная способность нефти 10 000 кКал/кг, угля (каменного) – 6000 кКал/кг, угля (бурого) – 3000 кКал/кг. Теплотворная способность нефти в 2 раза превосходит уголь. Таким образом, можно сделать вывод, что 1 кг нефти ценнее перевозки угля в 5-6 раз. Внутренний спрос на нефть составляет 47%, на экспорт приходится 53% всего объема перевозок. На объемы экспорта влияет цена на мировых рынках, качество добываемой нефти, динамика внутреннего спроса.

Последнее десятилетие характеризуется беспрецедентным ростом экспортного потенциала страны в перевозках нефти.

В настоящее время грузопотоки развернулись на Восток. Почти все, что производилось в нашей стране раньше, было ориентировано на Запад. Ныне экономика развернулась на Восток. Это связано с развитием экономики стран Дальнего Востока [1].

В нашей стране существует ряд факторов, влияющих на увеличение объемов экспорта на Восток. Российские нефтеперерабатывающие заводы по уровню оснащения и технологии работы отстают от уровня развитых стран мира. Это напрямую отражается на глубине нефтепереработки, которая с 2010 г. практически не изменилась и осталась на большинстве НПЗ на уровне 65-70%. По различным оценкам из-за не комплексной переработки нефти и газа ежегодно в стране остаются невостребованными от 20 до 25 млн. т попутного и вторич-

ного углеводородного сырья [2].

Железная дорога в наибольшей степени подходит для перевозки нефтепродуктов и сырой нефти высокого качества. В настоящее время доля железнодорожного транспорта в перевозках нефтепродуктов около 70%. Кроме того, железная дорога может обеспечить большую гибкость перевозок с точки зрения объемов и географии поставок. Также грузоотправители часто используют вагоны-цистерны в качестве промежуточных складов.

Так, доля бензина, транспортируемого железнодорожным транспортом, составляет около 25% от общего объема перевозок данного груза, а для дизельного топлива эта доля – около 50%.

Анализ Западного направления экспорта нефтепродуктов показал, что основным видом транспорта, используемого при вывозе за рубеж данных грузов, является также железнодорожный.

Несмотря на то, что согласно прогнозам развития трубопроводного транспорта в России, его доля в структуре перевозок нефтепродуктов к 2015 году должна составить 14%, с учетом планов по развитию транспортировки ключевых нефтепродуктов объем их перевозок железнодорожным транспортом будет расти на 2,1% в год [2].

На территории деятельности Новосибирского филиала ОАО ПГК находится несколько станций погрузки наливных грузов. Это в первую очередь станция Комбинатская. Значительный объем нефтепродуктов отгружают также такие станции, как Барабинск, Судженка, Коченево, Иня-Восточная, Сокур. К остальным станциям погрузки относятся станции Копылово, Омск-Восточный, Омск-Северный, Пламя, Ленинск-Кузнецкий, Штабка. Данные станции отгружают нефтегрузы на самые различные расстояния (таблица 1).

Используя данные за июль 2011 года, погрузка по направлениям распределилась следующим образом: на Запад – 20%, на Восток – 36%, в местном сообщении – 41%, в направлении средней Азии – 3% (таблица 2).

На основании рисунка 1 можно сделать вывод, что наибольшая доля вагонов в объеме погрузки приходится на расстояния до 500 км и 3000-5000 км.

Таблица 1 – Доля вагонов в месячном объеме погрузки в зависимости от расстояния

| Дальность, км | Количество погруженных вагонов | Доля, % |
|---------------|--------------------------------|---------|
| до 500 | 460 | 40,93 |
| 501-1000 | 120 | 10,68 |
| 1001-2000 | 8 | 0,71 |
| 2001-3000 | 120 | 10,68 |
| 3001-5000 | 416 | 37,00 |
| Итого: | 1124 | 100% |

Таблица 2 – Структура погрузки цистерн ОАО ПГК по направлениям в июле 2011 г.

| Направление | Количество погруженных цистерн | Доля, % |
|-------------------|--------------------------------|---------|
| Восток | 410 | 36 |
| Запад | 225 | 20 |
| Местное сообщение | 460 | 41 |
| Средняя Азия | 29 | 3 |
| Итого: | 1124 | 100 |

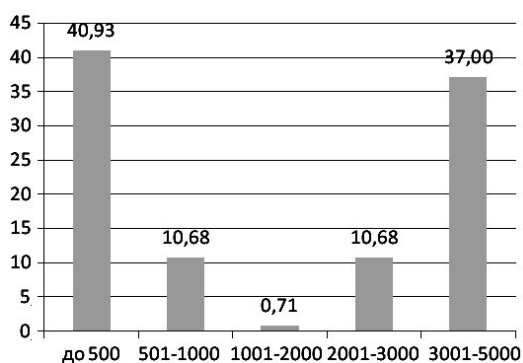


Рисунок 1 – Доля вагонов в объеме погрузки в зависимости от расстояния

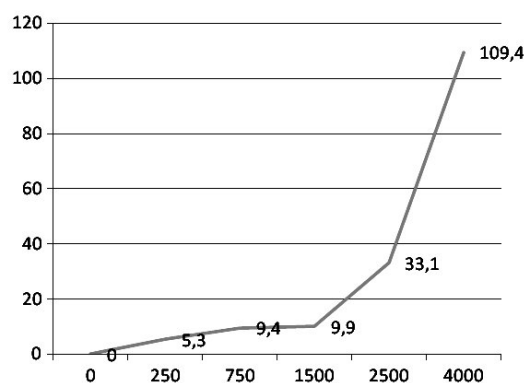


Рисунок 2 – Доля вагонов в грузообороте с нарастающим итогом

Данные рисунка 2 также показывают, что погрузка вагонов на расстояния до 1500 км почти не создает грузооборота сети железных дорог. В то же время погрузка вагонов на далекое расстояние свыше 2500 км создает почти 80% от суммарного грузооборота нефтеналивных грузов. При этом следует учесть, что данный грузооборот создает размеры движения на участках железнодорожных линий. Следовательно, с целью изменения местонахож-

дения вагонного парка на сети железных дорог страны необходимо регулировочные меры по ограничению или сгущению погрузки проводить в оперативных условиях для самых дальних назначений. В этом случае возможно на самую большую величину уменьшить повышенный парк вагонов особо загруженных участков и обеспечить с наименьшими затратами устойчивость в работе важнейших направлений сети железных дорог страны.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пехтеров, В. Восточный вектор / В. Пехтеров // Гудок. -2012. -30 окт.
2 Перепелица, О. Светлое будущее нефтепродуктов / О. Перепелица // РЖД-Партнер. -2010. -№16(188). -С. 42-46.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: погрузка нефтегрузов, дальность следования, оборот вагона, время следования, регулирование погрузки, вагонный парк, эффективность управления
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Кабалина Анна Викторовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.А. Смирнов

OBJECTIVE PARAMETERS FOR ESTIMATION OF TECHNOLOGICAL DECISIONS QUALITY OF ROLLING STOCK REPAIRING ENTERPRISES

Omsk state transport university
V.A. Smirnov

Questions of technological preproduction are studied, the system of multilevel estimation parameters of projects decisions for rolling stock repairing enterprises is offered.

Keywords: rolling stock repair, technological preproduction, parameters of project decision quality

Рассматриваются вопросы технологической подготовки производства, предлагается система показателей многоуровневой оценки качества проектных решений для предприятий по ремонту подвижного состава.

Качественный ремонт подвижного состава является важнейшим фактором обеспечения надежности и безопасности перевозочного процесса на железнодорожном транспорте. Основная задача предприятий ремонтного комплекса ОАО «РЖД» – обеспечение требуемых показателей безопасности движения, надежности и технической готовности подвижного состава компании при экономически оправданном уровне финансовых затрат.

Эффективность работы ремонтных предприятий с позиций экономических интересов собственников, можно оценить по рентабельности продукции, рассчитываемой как процентное отношение прибыли, полученной от реализации услуг по ремонту подвижного состава к себестоимости. При формировании затратной части, кроме традиционных составляющих, таких как фонд оплаты труда, амортизационные отчисления, затраты на комплектующие и топливно-энергетические ресурсы, необходимо учесть издержки, связанные со страхованием технологических рисков нарушений безопасности движения по причине некачественного ремонта

$$r_p = \frac{k_r}{1+s_p} \rightarrow \max, \quad (1)$$

где k_r – коэффициент рентабельности, для ремонтного производства $k_r = 10-30\%$;

s_p – страховая надбавка на покрытие штрафов за некачественный ремонт [1]

s_p – себестоимость единицы ремонта

$$s_p = w^E(1) + \frac{x_\alpha}{\sqrt{N_p}} \sqrt{x_\alpha w^E(1) [1 - w^E(1)]}; \quad (2)$$

$w^E(1)$ – среднегодовой параметр потока отказов подвижного состава по причине некачественного ремонта (коэффициент качества ремонта);

N_p – годовая программа ремонта;

x_α – квантиль вероятности не разорения α ($\alpha = 0,9, \dots, 0,95$).

С позиции качества функционирования ремонтного предприятия в рамках обеспечения единого перевозочного процесса, основными показателями являются: уровень восстановления оборудования по показателям безотказности в эксплуатации, срок, объемы и стоимость ремонта.

Комплексная оценка качества функционирования предприятия может быть произведена по интегральному критерию – показателю функциональной эффективности

$$V_p = \frac{T^E(t) A}{c_p + A T(t_p)} \rightarrow \max, \quad (3)$$

где c_p – цена ремонта;

t_p – время ремонта;

A – средний доход на единицу наработки подвижного состава;

$T(t_p)$ – наработка подвижного состава за интервал времени t_p ;

$T^E(t)$ – средняя наработка на отказ, тыс. км [2].

Средняя наработка до отказа по причине некачественного ремонта $T^E(t)$ зависит от многих факторов, таких как: применяемые технологии, квалификация персонала, метрологическое обеспечение, качество поступающих материалов и комплектующих и т.д. Точный аналитический расчет, в таких случаях, как правило, не возможен. Наиболее доступным методом является экспертное сопоставление значений наработки на отказ с интегральным показателем технологического уровня производства для группы предприятий одного функционального профиля. При наличии достаточного объема статистических данных возможно использование методов регрессионного анализа.

Таким образом, задача оценки качества проектных решений сводится к выбору комплекса показателей, характеризующих ожидаемую рентабельность и функциональную эффективность проектируемой технологической системы.

Множество показателей технологической системы предприятия по ремонту подвижного состава [1, 3] по объектно-функциональному признаку может быть классифицировано следующим образом (рисунок 1): показатели технического уровня производства, ресурсо- и энергоемкости, фондоемкости, производительности, качества функционирования.



Рисунок 1 – Классификация параметров и показателей, определяющих эффективность работы технологической системы предприятия по ремонту подвижного состава

Показатели технического уровня характеризуют технологическую систему предприятия с позиции прогрессивности и эффективности применяемых средств производства: уровень технологии, автоматизации и механизации производства, технологической гибкости и замкнутости производственных участков. Определяют границы возможных значений показателей для остальных классов.

Коэффициент автоматизации производства определяется как простое соотношение двух видов оборудования или с учетом их звенности [3]. Коэффициент механизации – с позиции степени замещения ручного труда машинным

$$k_m = \frac{T - T_p}{T}, \quad (4)$$

где T_p – время ручной работы слесарей по ремонту подвижного состава;

T – общий фонд рабочего времени на ремонт одной единицы.

Альтернативным вариантом оценки технического уровня производства является сравнение предполагаемых к использованию технологий с современным оборудованием, применяемым на передовых предприятиях в отрасли [3]. В виду отсутствия общепринятых методик вычисления, можно предложить расчет показателя технического уровня предприятия по следующей формуле

$$k_{ty} = \sum_{i=1}^n a_i u_i; \quad 0 < u_i \leq 1, \quad (5)$$

где a_i – весовые коэффициенты

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1;$$

u_i – экспертные оценки по шкале от 0 – отсталая не применяемая технология, до 1 – технология, соответствующая современным мировым стандартам.

Экспертная оценка производится в комплексе для технологического участка или позиции, обеспечивающего выполнение ремонта определенного вида оборудования. Веса назначаются по уровню «значимости» данного оборудования, например в обеспечении надежности подвижного состава (по статистике отказов на линии).

Под технологической гибкостью системы подразумевается возможность переналадки оборудования под изменения структуры ремонтного задания, в рамках установленной технической задачей на проект номенклатуры. Коэффициент технологической гибкости производства определяется как

$$k_r = 1 - \frac{B_n}{F}, \quad (6)$$

где B_n – среднее время переналадки технологической системы;

F – эффективный фонд времени работы оборудования.

Коэффициент технологической гибкости влияет на среднее время ремонта и учитывается при расчете производственной мощности предприятия (8).

Выбор концепции построения технологической системы, структурирование и конфигурирование основных ремонтных цехов и участков предусматривает оценку перспективной (стратегической) гибкости производства, под которой подразумевается способность к освоению ремонта конструктивно новой железнодорожной техники.

При оценке стратегической гибкости рассматриваются расчетные показатели стоимости технологической подготовки производства в соответствии с требованиями технического задания по проекту и стоимость внесения изменений для наиболее вероятных сценариев рыночного развития в долгосрочном периоде

$$k_{rc} = \frac{\sum_{i=1}^n c_i^{(tx)}}{\sum_{i=1}^n (c_i^{(tx)} + \Delta c_i^{(tx)}), \quad (7)$$

где $c_i^{(tx)}$ – сложившиеся по факту или расчетные затраты на технологическую подготовку производства для i -го вида ремонта;

n – перечень видов ремонта, выполняемых на предприятии;

$\Delta c_i^{(tx)}$ – дополнительные затраты, необходимые на технологическую подготовку произ-

водства, например при переходе на ремонт подвижного состава новой серии.

Показатель стратегической гибкости учитывается в дальнейшем при оценке размеров амортизационных отчислений на обновление производственных фондов.

Ресурсно-энергетические показатели технологической системы характеризуют затраты на приобретение топливно-энергетических ресурсов, материалов, комплектующих и создание оборотного фонда объектов ремонта при использовании обезличенного агрегатного метода. К их числу относятся:

- удельная энергоемкость ремонта подвижного состава в натуральном по видам ресурсов или денежном выражении;
- максимальная потребляемая мощность энергоносителей (тепла, электроэнергии, газа, сжатого воздуха, пара и т.д.);
- размер переходного запаса объектов ремонта, обеспечивающий заданную ритмичность и производительность предприятия;
- неснижаемый запас материалов и комплектующих.

Методики и алгоритмы для расчета перечисленных показателей содержатся в соответствующей научно-технической, методической и справочной литературе, посвященной вопросам технического аудита, проектированию, организации и подготовке производства [4, 5].

Показатели фондоемкости влияют на размер амортизационных отчислений при формировании себестоимости ремонта и включают в себя: стоимость оборудования и других производственных фондов, производственные площади, длину железнодорожных путей, площадь земельного участка предприятия. Подробная классификация показателей и методики их расчета приведены в [6].

К классу показателей производительности технологической системы относятся: производственная мощность, максимальная производительность, время ремонта подвижного состава и его отдельных узлов и агрегатов. Проектная мощность производственного подразделения с учетом показателей технического оснащения и надежности оборудования определяется выражением [7]

$$N_p^{(np)} = r_m F \exp(-t\lambda) \prod_{i=1}^n k_i, \quad (8)$$

где k_i – коэффициенты, учитывающие показатели прогрессивности оснащения, механизации, автоматизации, гибкости технологического оборудования и другие особенности производства, $n \in Z_+$;

r_m – производительность лимитирующего технологического участка или цеха, ч⁻¹;

F – годовой фонд рабочего времени, ч;

t – время работы технологического оборудования, ч;

λ – приведенная интенсивность отказов оборудования, ч⁻¹.

Показатели производительности учитываются при расчете функциональной эффективности технологической системы предприятия, а также при формировании цены ремонта в расчете прямых затрат и накладных расходов.

Под качеством функционирования технологической системы понимается эффективность использования производственного потенциала (средств производства и предметов труда). Основными показателями данного класса являются: объем незавершенного производства, длина очередей, коэффициенты загрузки и использования технологического оборудования, доля непроизводительных затрат в общей структуре расходов. Достоверные значения перечисленных показателей на этапе проектирования технологической системы могут быть получены по результатам имитационного моделирования [8]. Показатели качества функционирования должны учитываться при расчете итоговых значений производительности, времени, энерго- и ресурсоемкости ремонта.

Перечисленный комплекс показателей связывает совокупность процедур проектирования и проектных решений с показателями эффективности работы предприятия по ремонту подвижного состава (рисунок 2).

На схеме узлы модели – результаты выполнения проектных процедур, расчетные показатели технологической системы, ребра модели – причинно-следственные связи. На схеме использованы следующие обозначения:

X_i – процедуры проектирования, включающие в себя – формирование ремонтного задания X_1 ; разработку функциональной структуры и концепции предприятия

X_2, X_3 ; выбор оборудования и расчет параметров производительности X_4 ; расчет переходного запаса материалов, комплектующих и объектов ремонта X_5 ; оценку потребностей производственной инфраструктуры X_6 ; разработку компоновочных схем и планов размещения оборудования X_7, X_8 ; составление генерального плана застройки X_9 ;

R_i, V_i – проектные решения и показатели технологической системы соответственно;

V_R – множество целевых показателей, по которым производится сравнение вариантов технологического проекта по интегральному качественному критерию V_s и показателям эффективности r_p, v_p .

Оценка проектных решений производится на следующих этапах (уровнях):

I – непосредственно в процессе выполнения проектных процедур;

II – после завершения каждой проектной процедуры с целью предварительного отбора альтернативных вариантов или разработки рекомендаций по внесению изменений в проектное решение на данном этапе проекта;

III – после завершения полного цикла проектирования для сравнения нескольких вариантов технологического проекта и выбора предпочтительного по интегральному критерию;

IV – при окончательной проверке выбранного варианта по критериям рентабельности и функциональной эффективности.

В первом случае, критерии оценки и принятия решения содержатся непосредственно в расчетных методиках и алгоритмах выполнения проектных процедур, например: выбор формы организации цехового производства определяется по номограммам коэффициента технологической замкнутости, компоновка оборудования в цехе ограничена нормами охраны труда, строительными, санитарными нормами и правилами [3, 6]. При этом исключаются варианты заведомо не соответствующие нормам технологического проектирования.

Критерии второго уровня используются для предварительного отбора рациональных вариантов в пределах проектной процедуры путем решения стандартной задачи на максимум или минимум. Существуют различные подходы к выбору состава целевых показателей в зависимости от исходных данных, степени важности конкретного проектного решения и рисков принятия ошибочного варианта и т.д. На основании проектной практики для предприятий по ремонту подвижного состава можно рекомендовать следующий состав показателей – таблица.

Каждому из параметров (атрибутов) технологической системы сопоставляется один или несколько, характеризующих их целевых показателей V_R . На основании анализа комплекса показателей V_R делается предварительное заключение о выборе предпочтительных вариантов технологического проекта предприятия одним из методов многокритериальной оптимизации: путем назначения интегральной функции полезности, выделения Паретто-оптимальной области [9] и т.д.

На практике, одним из возможных вариантов является сведение полученного вектора показателей \bar{V}_R , после предварительной нормировки относительно базового варианта $V_R^{(6)}$ к интегральному показателю V_s методом суммирования частных показателей V_R^* , взвешенных

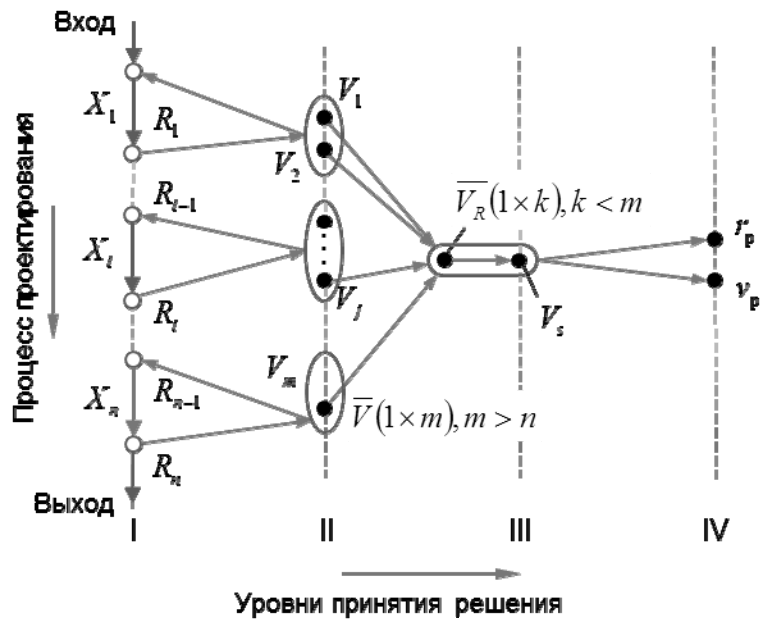


Рисунок 2 – Граф-модель формирования системы показателей для оценки качества технологических решений предприятий по ремонту подвижного состава

по их значимости

$$V_s = \sum_{i=1}^n V_{Ri}^* \cdot k_i ; V_{Ri}^* = V_{Ri} / V_{Ri}^{(6)} , \quad (9)$$

где k_i – весовые коэффициенты, $\sum_{i=1}^n k_i = 1$.

Таблица – Целевые показатели для оценки качества проектных решений

| Проектные процедуры | Параметры (атрибуты) технологической системы | Целевые показатели |
|---------------------|--|--|
| X_1 | P_1 -доходность объектов ремонта | V_1 -рентабельность ремонта, % |
| X_2 | P_2 -масштаб производства | V_2 -интенсивность материальных потоков, 1/ч |
| X_3 | P_3 -гибкость производства | V_3 -коэффициент гибкости |
| X_4 | P_4 -уровень технологий и производительность | $V_{4.1}$ -время ремонта, ч |
| | | $V_{4.2}$ -производственная мощность, ед./год |
| | | $V_{4.3}$ -штатная численность персонала |
| | | $V_{4.4}$ -коэффициент технического уровня |
| X_5 | P_5 -логистика | V_5 -переходной запас материалов, комплектующих и объектов ремонта, руб. |
| X_6 | P_6 -ресурсо- и энергоемкость | $V_{6.1}$ -удельная энергоемкость, кВт·ч |
| | | $V_{6.2}$ -длина железнодорожных путей, км |
| | | $V_{6.3}$ -производственные площади, м ² |
| X_7 | P_7 -структурная компоновка | V_7 -длина транспортных маршрутов, км |
| X_8 | P_8 -план размещения оборудования | V_8 -грузовая работа за единичный технологический цикл, т·м |
| X_9 | P_9 -площадка застройки | V_9 -площадь земельного участка, км ² |

Отбор показателей и назначение весов коэффициентов осуществляется экспертным методом на основании обобщения научных знаний в области проектирования и эксплуатации объектов данного класса, либо путем оценки чувствительности компонент интегральных показателей эффективности (себестоимости, качества и времени ремонта) к изменениям численных значений частных показателей. При этом сами частные показатели должны быть независимыми. Предельные пороговые значения минимальной чувствительности устанавливаются из следующих соображений: число показателей должно быть минимальным, погрешность оценки за счет исключения части компонент не должна превышать уровень, допускаемый в инженерных расчетах (5-10%).

С учетом вышеизложенного можно предложить следующий состав частных показателей для расчета V_s :

- V_{R1} – численность персонала на единицу производственной мощности;
- V_{R2} – удельная энергоемкость ремонта;
- V_{R3} – размер переходного запаса объектов ремонта и комплектующих;
- V_{R4} – установленная мощность системы энергоснабжения предприятия;
- V_{R5} – длина железнодорожных путей;
- V_{R6} – приведенная стоимость технологического оборудования с учетом амортизационных отчислений;
- V_{R7} – площадь производственных корпусов;
- V_{R8} – площадь земельного участка предприятия.

Окончательная оценка вариантов технологического проекта осуществляется по критериям IV уровня – рентабельности r_p и функциональной эффективности ремонта v_p (I и III уровень). Для их вычисления выполняется расчет себестоимости ремонта по полученным ранее значениям показателей V_{R1}, \dots, V_{R8} . Пересчет значений параметров и показателей V_R в денежное выражение осуществляется по информации маркетинговых исследований (например: стоимость одного квадратного метра промышленного строительства, средняя зара-

ботная плата квалифицированных рабочих в регионе и т.д.).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смирнов, В.А. Выбор показателей технологического оснащения предприятий по ремонту железнодорожного подвижного состава с учетом рисков безопасности движения / В.А. Смирнов, В.Ф. Кузнецов, А.М. Семенов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 112-117.
- 2 Смирнов, В.А. Стратегическое планирование вагоноремонтного производства с учетом рыночных рисков / В.А. Смирнов, А.М. Семенов, В.И. Хомутских // Трансп. Урала. -2011. -№4. -С. 39-44.
- 3 Проектирование автоматизированных участков и цехов / В.П. Вороненко [и др.]; под ред. Ю.М. Соломенцева. -М.: Высш. шк., 2003. -272 с.
- 4 Смирнов, В.А. Энергосбережение при ремонте и техническом обслуживании локомотивов / В.А. Смирнов, А.С. Талызин // Изв. Транссиба. -2011. -№4. -С. 41-49.
- 5 Методика проведения энергетических обследований потребляющих устройств, обеспечивающих тягу поездов и ремонтное производство на железнодорожном транспорте: инструктивно-метод. указания комплекс. системы энергет. обследования / под общ. ред. В.Т. Черемисина / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2004. -429 с.
- 6 Грундиг, К.-Г. Проектирование промышленных предприятий. Принципы. Методы. Практика: пер. с нем. / К.-Г. Грундиг. -М.: Альпина Бизнес Букс, 2007. -340 с.
- 7 Болотин, М.М. Математические модели инженерного анализа вагонных дел / М.М. Болотин // Мир трансп. -2005. -№3. -С. 4-15.
- 8 Смирнов, В.А. Имитационное моделирование технологических процессов предприятий транспортного машиностроения / В.А. Смирнов, А.М. Семенов // Вестн. РГУПС. -2012. -№2.
- 9 Штойер, Р. Многокритериальная оптимизация. Теория, вычисления и приложения: пер. с англ. / Р. Штойер. -М.: Радио и связь, 1992. -504 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ремонт подвижного состава, технологическая подготовка производства, показатели качества проектных решений*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Смирнов Виктор Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»*

КОНЦЕПЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

С.В. Костров

THE INTERACTION CONCEPT AS A BASIS OF FORMATION OF THE COMPETITIVE COMBINED TRANSPORTATIONS ON A WATER TRANSPORT

Volga state academy of water transport

S.V. Kostrov

The article discusses of development of the combined transportations on the basis of logistic interaction water and adjacent means of transport are considered.

Keywords: the competition, logistics, integration, innovations, interaction, the water transport, the combined transportations

Рассмотрены вопросы развития комбинированных перевозок на основе логистического взаимодействия водного и смежных видов транспорта.

В середине XX века сформировались общие теоретические представления о сущности конкуренции и её основных моделях: совершенной, монополистической, олигополистической конкуренции и чистой монополии. Их анализ позволяет утверждать, что конкуренция является необходимым и важнейшим элементом рыночного механизма, но сами ее формы далеко не одинаковы на различных рынках и в различных рыночных ситуациях [1]. Это существенно влияет на поведение предприятий при принятии решений относительно цен, объема производства продукции и других параметров экономической деятельности.

Конкурентоспособность организации связывается с характеристиками рынка, высокой производительностью, низкими затратами, что в целом и является «ключом к успеху».

Для научных и практических целей имеет смысл также учитывать различие между конкурентоспособностью и компетентностями, то есть областями специализации организации. В связи с этим выделяются обычно пять типов компетентностей, позволяющих сформировать цепочку ценностей организации: ресурсы, способности персонала, коммуникации, инновации, организационные возможности.

Эти компетентности, рассматриваемые как стратегические факторы конкурентоспособности позволяют предприятию эффективно конкурировать с другими организациями и вы-

полнять качественное удовлетворение потребностей клиентов. В связи с этим Майкл Портер выделяет и исследует в рыночной среде угрозы и влияние следующих конкурентных сил: новых конкурентов, товаров заменителей, производство которых основано на другой технологии, потребителей, поставщиков и конкуренцию среди последних.

Цепочка ценностей охарактеризована Майклом Портером как набор взаимосвязанных видов деятельности – от первичных до конечных, которые бизнес-единица осуществляет сама и во взаимодействии со своими поставщиками, заказчиками и другими партнерами по бизнесу.

Это в равной степени относится и к услугам транспортной сферы

Компетентностный и инновационный подход к формированию конкурентоспособности организации показан Коноваловым М.С. [2], где приведена диаграмма Гроува «Шести сил с десятикратной силой (мощностью)», развивающая модель М.Портера [3].

В качестве особой, шестой силы выделена вероятность того, что продукцию (изделие, услугу), можно создавать другим, инновационным способом. Разделяя данную позицию Э. Гроува, можно подчеркнуть, что на транспорте это использование логистического подхода, благодаря которому посредством целенаправленной политики осуществляется интеграция усилий участников сквозного процесса перемещения грузов и пассажиров и создается комбинированная система перевозок.

При этом инновационная деятельность в сфере развития комбинированных перевозок должна сопровождаться как поиском инновационных технических решений (по материалам, энергии и т.п.), так и инновационных технологий перевозок и управленческих решений, включая логистические решения по конкурентному взаимодействию (кооперации) видов транспорта в проектируемой транспортно-логистической системе.

Инновации и логистическое взаимодействие (кооперация) участников комбинированных перевозок становятся дополнительными реальными силами конкурентного развития отрасли.

В результате, в стратегическом плане привлекательность транспортной отрасли может быть представлена на следующей схеме (рисунок 1).

В современной экономической науке сложилось вполне определенное представление об особенностях и показателях оценки эффективности работы транспорта, конкурентоспособности его предприятий и продукции, которое вместе с тем требует развития [4].

Во-первых, при перевозке грузов продолжается процесс товарного производства в пределах процесса обращения и для процесса обращения, благодаря которому материальные ресурсы и готовая продукция промышленности становятся доступными для потребителей.

Во-вторых, последнее десятилетие произошел качественный сдвиг, заключающийся в переходе от ориентации на мобильность грузов и людей к ориентации на доступность. В силу инфраструктурной природы транспорта для потребителей важны не объемные показатели или показатели эффективности перевозочной работы, а качество транспортных услуг, транспортная доступность.



Рисунок 1 – Стратегические факторы привлекательности транспортной отрасли на основе модели М. Портера:

*–дополнено автором

В-третьих, транспорт страны, пройдя за время рыночных реформ фазу активной реструктуризации, распался на множество частей и подошел к новой фазе, фазе трансформации. Иначе говоря, после того, как стало затруднительным на рынке конкурировать за клиента в силу возрастания трансакционных издержек и дробления транспортных потоков и добиваться экономической выгоды в одиночку, актуальной стала задача мобилизации предприятиями видов транспорта, ресурсов всех видов, для удовлетворения возрастающих требований рынка к качеству и эффективности перевозок на основе их взаимодействия.

В-четвертых, ретроспективный анализ показал, что в экономике активно идет органическое сращивание транспорта с обслуживаемыми сферами – экономикой, социальной сферой, транспорт превращается в звено единой системы производства, перемещения, распределения. Новый подход к транспорту в период его трансформационных изменений, как к составной части более крупной системы, привел к необходимости рассматривать его в разных аспектах. С точки зрения изучения эффективности работы отдельных видов транспорта и их взаимодействия с клиентами, важен не способ перевозки и даже не вид транспорта, а во-время и в сохранности доставленный объект – груз, пассажир.

В этой связи немаловажен опыт зарубежного водного транспорта. В условиях обострения конкурентной борьбы в сфере контейнерных перевозок на водном транспорте Германии, в последние годы, ведется поиск эффективных технических, информационно-технологических и организационных решений, определяющихся конъюнктурой рынка транспортно-логистических услуг. Одновременно усиливается взаимодействие судоходных компаний с железной дорогой и автомобильными предприятиями, формируются системы транспортных коридоров с установлением единых ставок за пользование. В этой связи особое внимание уделяется совместной работе видов транспорта по организации контейнерных и паромных перевозок [5-7].

Такая практика начинает получать развитие и на водном транспорте России. В частности в Поволжье по инициативе правительства республики Татарстан в настоящее время идет создание многофункциональной (мультиmodalного) транспортного узла в Свияжске, который призван объединить усилия практически всех видов транспорта для организации отправления и прибытия грузов в рамках международного транспортного коридора «Север-Юг».

Значительные усилия по консолидации потоков и сквозной доставке генеральных грузов с участием внутреннего водного транспорта проводят компании Нижегородской и Самарской областей. В Нижнем Новгороде предпринимается попытка организовать совместную деятельность автотранспортных, судоходных и железнодорожных компаний на круглогодичном маршруте доставки контейнеров между пунктами Нижний Новгород–Санкт-Петербург. Однако мультиmodalная доставка сопряжена с определенными трудностями: отсутствие флота требуемых параметров (по скорости и грузопместимости) и современных грузовых терминалов, а также неразвитость организационных и коммерческо-правовых отношений между субъектами комбинированной транспортной системы.

Согласованное развитие всех элементов транспортной инфраструктуры требует использования наиболее эффективных методов и инструментов управления интеграционной деятельностью, среди которых особое место занимает кооперация. Кооперация субъектов рынка в форме сотрудничества и партнерства, как показывают исследования, является эффективным способом взаимодействия в системе рыночных межфирменных отношений в сфере и транспорта.

Основные задачи комбинированной системы перевозок с этих позиций в интегрированном виде могут быть определены шестью составляющими, или правилами логистического управления [8, 9]: объект (товар или пассажир), в необходимом количестве должен быть доставлен в нужное время, в нужное место, с надлежащим качеством и с приемлемыми затратами (издержками). Следовательно, основными показателями и критериями эффективного управления комбинированными перевозками должны быть: полнота доведения материально-транспортного потока через систему до потребителя за установленное время, уровень издержек, явных или не явных, качество транспортного обслуживания, а именно время, надежность, сохранность, безопасность, гибкость, сервис.

В результате, концептуальная схема формирования потребительских характеристик комбинированных перевозок будет определяться моделью, представленной на рисунке 2. Отличие данной модели от существующих состоит в том, что потребительские свойства комбинированных перевозок формируются не только под влиянием внутренних составляю-

щих – качества функционирования транспортных подсистем [10], но и с учетом изменения параметров внешней среды и особенностей взаимодействия участников сквозного транспортного процесса – видов транспорта. К этому добавляются институциональные и инновационные изменения системы комбинированных перевозок.

На этой основе обеспечивается конкурентоспособность системы комбинированного транспорта, как ее сравнительное преимущество по отношению к другим транспортным системам.

Конкурентоспособность системы комбинированных перевозок (продукции и ее организационной системы) определяется не только рыночными характеристиками каждого из предприятий, но и их ключевыми компетенциями на всех этапах жизненного цикла системы и стадиях транспортировки. В связи с этим, основываясь на теоретических положениях «сквозной диагностики» конкурентоспособности комбинированного транспорта, как горизонтального кластера, это реальная и потенциальная способность организационной системы, а также имеющейся у нее для этого возможности предоставлять транспортные услуги, которые по ценовым и неценовым характеристикам в комплексе являются более привлекательными для потребителя, чем продукция (транспортные услуги) конкурентов, и позволяют обеспечивать устойчивые показатели работы и темпы развития, в том числе за счет использования ценовых (тарифных) преимуществ, надежности и экологичности водного транспорта.



Рисунок 2 – Концептуальная модель формирования конкурентных потребительских свойств комбинированных перевозок

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Азоев, Г.А. Конкурентоспособность фирмы / Г.А. Азоев, А.Ч. Челенков. -М., 2001. -256 с.
- 2 Коновалов, М.С. Организационно-экономические аспекты развития воднотранспортной системы в условиях инновационной экономики: монография / М.С. Коновалов; под общ. ред. В.Н. Кострова. -Н.Новгород: Меркурий, 2009. -260 с.
- 3 Портер, М. Конкуренция / М. Портер. -2-е изд. -М.: Вильямс, 2006. -608 с.
- 4 Персианов, В.А. Общий курс транспортной логистики / В.А. Персианов, Л.С. Федоров, И.Б. Мухаметдинов. -М.: КноРус, 2011. -312 с.
- 5 Костров, С.В. Маркетинговые и организационно-экономические проблемы развития скоростных перевозок на водном транспорте в современных условиях / С.В. Костров // Труды конгресса международного научно-промышленного форума «Великие реки – 2010». -Н.Новгород, 2010. -С. 199-201.
- 6 Инновационные технологии – основа развития речного транспорта в XXI веке / В.И. Минеев, Н.А. Ефремов, В.Н. Костров, В.Л. Этин, С.Г. Митрошин // Реч. трансп. (XXI в.). -2009. -№6(42). -С. 34-39.
- 7 Логистика. Полный курс MBA / В.И. Сергеев, В.В. Дыбская, Е.Н. Зайцев, А.Н. Стерлигова. -М.: ЭКСМО, 2008. -944 с.
- 8 Куренков, П.В. Внешнеторговые перевозки в смешанном сообщении. Экономика. Логистика. Управление / П.В. Куренков, А.Ф. Котляренко. -Самара: СамГАПС, 2002. -636 с.
- 9 Веселова, Ю.В. Экономическая оценка качества экспортных перевозок в железнодорожно-водном сообщении: автореф. дис. ... канд. экон. наук / Ю.В. Веселова. -Самара, 2006. -22 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: конкуренция, логистика, интеграция, инновации, взаимодействие, водный транспорт, комбинированные перевозки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Костров Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»

ИНВЕСТИЦИОННЫЙ НАЛОГОВЫЙ КРЕДИТ, КАК ЭЛЕМЕНТ НАЛОГОВОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

М.И. Мигунова, Е.А. Елгина

INVESTMENT TAX CREDIT, AS AN ELEMENT OF OF THE TAX INCENTIVES IN INNOVATION TRANSPORT ORGANIZATIONS
Siberian federal university
M.I. Migunova, E.A. Elgina

The article reviews general issues of innovative component of transport system development investment tax credit as a form of tax incentives, discusses the main tax incentives for innovative organizations.

Keywords: transport, transport communications, transport strategy, innovative variant development of transport system, the form of tax incentives innovation, investment tax credit

Рассмотрены общие вопросы инновационной составляющей развития транспортной системы инвестиционный налоговый кредит, как одну из форм налогового стимулирования, рассматриваются основные налоговые льготы для инновационных организаций.

В Российской Федерации, как и в других развитых странах, транспорт является одной из крупнейших базовых отраслей хозяйства, важнейшей составной частью производственной и социальной инфраструктуры.

Транспортные коммуникации объединяют всю страну, что является необходимым условием ее территориальной целостности, единства ее экономического пространства. Они связывают страну с мировым сообществом, являясь материальной основой обеспечения внешнеэкономических связей России и ее интеграции в глобальную экономическую систему.

Транспорт – самая наукоемкая отрасль, которая затрагивает интересы и обеспечивает жизнедеятельность всего общества.

Стратегическая цель развития транспортной системы – удовлетворение потребностей инновационного социально ориентированного развития экономики и общества в конкурентоспособных качественных транспортных услугах.

В настоящее время действует Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 года (утв. распоряжением Правительства РФ от 22 ноября 2008 г. №1734-р) которая, по мнению директор института проблем транспорта им. Н.С. Соломенко РАН Олега Белого носит инновационный характер. В транспортной стратегии наряду с другими, наметчен инновационный вариант развития транспортной системы.

К числу фундаментальных инновационных технологий в области транспорта, развитие которых ожидается в первой половине XXI века относиться инвестирование в разработки и продвижение электромобилей и гиперзвуковых двигателей.

Инновации требуют фундаментальных исследований. Для работы необходимы определенная инфраструктура, благоприятный финансовый климат. Такая инфраструктура должна довести изобретение до рыночной продукции, которую можно купить. Создать такую инфраструктуру может только государство

Указанная задача в настоящее время входит в число приоритетных направлений государственного регулирования экономики, как на федеральном, так и региональном уровнях. Одним из приоритетных направлений государственного регулирования инвестиционной и инновационной деятельности является налоговое стимулирование. Наличие налоговых льгот имеет кумулятивный эффект, так как оказывает влияние не только на участников инновационного процесса, но и на государство в целом, гарантируя ему получение стабильных налоговых доходов в будущем и повышение конкурентоспособности отечественной продукции на мировом рынке.

Не смотря на доминирование мер законодательно-нормативного регулирования и бюджетного финансирования, принимаемых для активизации инновационной деятельности, на федеральном уровне, существенные усилия предпринимаются в этом направлении и региональными властями. Большинство регионов проводят собственную экономическую политику, ставят и достигают собственных целей экономического развития. В тоже время, известно, что принимаемые меры экономического регулирования и прямого бюджетного финансирования приоритетных инновационных проектов федерального и регионального уровней,

пока не являются в достаточной степени эффективными, а уровень инвестиций и вложений в инновационную деятельность со стороны коммерческого сектора значительно ниже уровня не только стран ЕС и США, но и ряда быстрорастущих развивающихся стран. Таким образом, проблемы активизации инновационной деятельности как бизнес-сектора, так и финансового сектора, а также применения государственных экономических методов регулирования инновационной систем, включая налоговые, как на федеральном уровне так и на региональном уровне являются достаточно актуальными.

Как известно, регулирующая функция налогов реализуется через различные налоговые преференции. На рисунке нами представлены формы налогового стимулирования инновационной деятельности, применяемые в Российской Федерации.



Рисунок – Формы налогового стимулирования инновационной деятельности в Российской Федерации [6]

В Российской Федерации, начиная с 2008 года наблюдается усиление стимулирующей составляющей налогообложения организаций, занимающихся инновационной деятельностью. Проведенный нами анализ действующего налогового законодательства по данному вопросу позволяет сделать следующие выводы. Налоговые льготы для инновационных фирм можно разделить на две группы. К первой группе относятся льготы, которые применяются ко всем налогоплательщикам, занимающимся инновационной деятельностью. Ко второй группе можно отнести льготы, предусмотренные только в отношении организаций, являющихся резидентами технико-внедренческих особых экономических зон. Так как, большинство регионов не относится ко второй группе, то обобщим налоговые льготы, применяемые ко всем инновационным организациям. Иными словами это стандартные налоговые льготы, принятые на уровне федерации и прописанные в Налоговом кодексе РФ. Систематизируем налоговые льготы для первой группы налогоплательщиков в таблице.

Таблица – Основные налоговые льготы для инновационных фирм вступившие в действие с 01.01.2012 г. и действующие по состоянию на 01.04.2013 г.

| НДС (гл.21 НК РФ) |
|--|
| 1 Освобождение от НДС при реализации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ (подп.16.1 п.3 ст.149 НК РФ; подп.16 п.3 ст.149 НК РФ). |
| 2 Освобождение от НДС реализации прав на результаты интеллектуальной деятельности (подп.26 п.2 ст.149 НК РФ). |
| Налог на прибыль организаций (гл.25 НК РФ) |
| 1 Упрощенный учет расходов на НИОКР (ст. 262 НК РФ). |
| 2 Единовременный учет расходов на приобретение электронно-вычислительной техники (с п.6 ст.259 НК РФ). |
| 3 Ускоренный порядок амортизации основных средств, используемых в научно-технической деятельности (подп.2 п.2 ст.259.3). |
| 4 Освобождение от налога на прибыль средств целевого финансирования. (подп.14 п.1 ст.251 НК РФ). |
| 5 Создание резерва расходов на НИОКР (ст.267.2 НК РФ). |
| 6 Нулевая ставка по налогу на прибыль для образовательных и медицинских организаций, осуществляющие НИОКР (п.3 ст.284.1 НК РФ). |
| Налог на имущество организаций (гл.30 НК РФ) |
| 1 Введена льгота по уплате налога на имущество по энергоэффективным основным средствам (п.21 ст.381 НК РФ). |
| УСН (гл.26.2 НК РФ) |
| 1 Расширен перечень организаций, имеющих право на применение упрощенной системы налогообложения (подп.14 п.2 ст.346.12 НК РФ). |

Перечисленные в таблице льготы должны быть нацелены в первую очередь на снижение уровня налоговой нагрузки с целью высвобождения финансовых ресурсов, направляе-

мых на инновационную деятельность. Чего на практике не наблюдается. Так, Торгово-промышленной палатой России был проведен мониторинг и анализ экономической эффективности налоговых льгот. Подавляющее число респондентов (предпринимателей, главных бухгалтеров и экономистов) отметили низкую эффективность выше перечисленных льгот обосновав это тем, что предусмотренные законом льготы касаются крайне узкого сегмента инновационной деятельности и не могут оказать значимого влияния на изменение направленности отечественной экономики в сторону внедрения новейших технологий и их финансирования.

Главной целью региональной инновационной политики в этих условиях является создание благоприятных условий для естественной эволюции инновационной сферы, повышения восприимчивости предпринимательского сектора к инновациям. Для решения обозначенной выше проблемы в сравнении с прямыми бюджетными инвестициями более эффективным, с нашей точки зрения, является значительно более широкое применение инструментов налогового стимулирования инновационной деятельности, которые активно применяются развитыми странами [5].

Одним из таких инструментов является инвестиционный налоговый кредит. За рубежом такой налоговый кредит рассчитывается, как правило, в процентах от стоимости оборудования и вычитается из суммы налога на прибыль или облагаемого налогом дохода. Считается, что этот инструмент позволяет лучше, чем другие льготы, учитывать имущественное положение налогоплательщика. Если кредит предоставляется в виде вычета из налоговой базы, то большую выгоду получает налогоплательщик, доходы которого облагаются по более высокой ставке. Инвестиционный налоговый кредит, вычитаемый из суммы налога, сохраняет большую долю доходов плательщику с низкими доходами [10].

В Российской Федерации регламент предоставления инвестиционного налогового кредита закреплен статьями 61-68 Налогового Кодекса РФ. В соответствии со ст.66.1 «инвестиционный налоговый кредит представляет собой такое изменение срока уплаты налога, при котором организации при наличии оснований, указанных в статье 67 настоящего Кодекса, предоставляется возможность в течение определенного срока и в определенных пределах уменьшать свои платежи по налогу с последующей поэтапной уплатой суммы кредита и начисленных процентов» [7]. Определение, приводимое в НК РФ, в определенной степени не отражает сущностный характер термина, предоставляемой льготы по налогу. Только в ст.67 обозначены специфические виды деятельности, в том числе особенности её осуществления, являющиеся основанием для предоставления инвестиционного налогового кредита.

В частности, в Красноярском крае необходимым условием для получения такого кредита является предоставление бизнес-плана развития предприятия, выполнение которого (в части объема инвестиций и объемов наращивания производства) будет контролироваться при выделении кредитных ресурсов. В крае в рамках мер по созданию благоприятных условий для инвестиций (не инноваций) действует Закон «Об установлении иного основания и иных условий предоставления инвестиционного налогового кредита по региональным налогам». Согласно положениям данного документа инвестиционный налоговый кредит по региональным налогам может быть предоставлен организации, имеющей заключенный договор о государственной поддержке инвестиционной деятельности, направленный на развитие одного из установленных видов экономической деятельности, в частности, растениеводство, животноводство, лесозаготовки, обработка древесины и производство изделий из дерева, производство пищевых продуктов, включая напитки и т.д. Как видим, в настоящее время, в данном перечне отсутствуют предприятия инновационной сферы. И данная тенденция наблюдается практически во всех регионах РФ.

По сути своей данный метод налогового стимулирования, по нашему мнению и мнению большинства экономистов, носит в большей степени кредитный, а не стимулирующий, побуждающий характер. Так как возникающие обязательства требуют со временем возмещения с учетом начисленных за соответствующий срок процентов, что не способствует востребованию со стороны потенциальных налогоплательщиков.

Кроме того, не каждый субъект, реализующий инновационный (инвестиционный) проект может соответствовать требованиям и условиям, обеспечивающим предоставление инвестиционного налогового кредита.

Таким образом, как отметил профессор Попов М.В., в целом механизм инвестиционного налогового кредита могут стать реальным и эффективным инструментом налогового стимулирования инвестиционной и инновационной деятельности в России. Вместе с тем данный

инструмент фактически не работает. Уполномоченные государственные органы неохотно идут на предоставление инвестиционных налоговых кредитов, поскольку они ведут к потерям доходов бюджетов (и без того дефицитных), организации зачастую не обеспечивают целевого использования полученных средств и их своевременного возврата (с процентами) [10].

Поэтому необходимо решить имеющиеся проблемы с целью повышения эффективности и значимости инвестиционного налогового кредита. В частности, эффективность налогового стимулирования развития инновационной экономики во многом зависит от четкого определения круга налогоплательщиков, на которых следует направить стимулирующее воздействие и соответствующего набора налоговых инструментов. Отсутствие единства терминологии, связанной с инновационной экономикой и ее субъективным составом, существенно снижает эффективность налогового стимулирования инновационной экономики

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 О внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации в части формирования благоприятных налоговых условий для финансирования инновационной деятельности [Электронный ресурс]: федер. закон от 19 июля 2007 г. №195-ФЗ. -Режим доступа: <http://base.garant.ru/12154873/>.
- 2 Концепция долгосрочного социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]: распоряжение Правительства Рос. Федерации от 17 нояб. 2008г. №1662-р. -Режим доступа: <http://www.ifar.ru/ofdocs/rus/rus006.pdf>.
- 3 Гордеева, О.В. Инструменты налогового регулирования инновационной деятельности /О.В. Гордеева // *Налоги*. -2009. - №48.
- 4 Ерошкин, А.М. Механизмы государственной финансовой поддержки инноваций за рубежом / А.М. Ерошкин // *Финансы и кредит*. -2011. -№24(456). -С. 62-70.
- 5 Мигунова, М.И. Роль налогов в стимулировании инновационной деятельности в Красноярском крае / М.И. Мигунова, Л.Ф. Панасюгина // *Экономика, психология, бизнес*. -2012. -№21. -С. 167-175.
- 6 Налоговый кодекс РФ: федер. закон от 31 июля 1998 г. №147-ФЗ: в ред. от 06 дек. 2011 г. №405-ФЗ.
- 7 Об инвестиционном налоговом кредите в Томской области [Электронный ресурс]: закон Томск. обл. от 18 марта 2003 г. №31-ОЗ. -Режим доступа: <http://base.consultant.ru/>.
- 8 О налогах и особенностях налогообложения отдельных категорий налогоплательщиков в Новосибирской области [Электронный ресурс]: закон Новосиб. обл. от 16 окт. 2003 г. №142-ОЗ -Режим доступа: <http://base.consultant.ru/>.
- 9 Попов, М.В. Налоговые инструменты стимулирования инвестиций в инновационное развитие экономики / М.В. Попов // *Вопр. соврем. науки и практики / Ун-т им. В.И. Вернадского*. -2012. -№2 (40).
- 10 Стратегии инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.consultant.ru>.
- 11 Стратегия инновационного развития Красноярского края на период до 2020 года [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.krskstate.ru/innovation/strategy>.
- 12 Цыркунова, Т.А. Оценка инвестиционной деятельности и инновационной сферы Красноярского края / Т.А. Цыркунова, М.И. Мигунова // *Регион. экономика: теория и практика*. -2012. -№4. -С. 24-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *транспорт, транспортные коммуникации, транспортная стратегия, инновационный вариант развития транспортной системы, формы налогового стимулирования инновационной деятельности, инвестиционный налоговый кредит*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Мигунова Марина Ивановна, канд. экон. наук, доцент ФГАУ ВПО «СФУ»
Елгина Екатерина Александровна, канд. экон. наук, доцент ФГАУ ВПО «СФУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *660075, г.Красноярск, ул.Л.Прушинской, 2, ФГАУ ВПО «СФУ»*

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ

Западно-Сибирский региональный общий центр обслуживания – структурное подразделение Центра корпоративного учета и отчетности «Желдоручет» – филиала ОАО «РЖД»

К.А. Кречетова

METHODICAL BASES OF ESTABLISHING OPERATIONAL MODES OF ROLLING STOCK FOR REGIONAL TRANSPORT NETWORK

West Siberian regional center service overall – of the Centre for corporate accounting and reporting Zheldoruchet – the branch of Russian Railways
K.A. Krechetova

Problem statement and methodical bases of determining the optimal capacity of river and rail units.

Keywords: *transport units, operating parameters, optimal carrying capacity*

Приведены постановка задачи и методические основы определения оптимальной грузоподъемности речных и железнодорожных составов.

В «Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года» (утв. 20 ноября 2008 г.) отмечалось обострение диспропорций в развитии разных видов транспорта и транспортной инфраструктуры регионов. Это характерно, прежде всего, для Западно-Сибирского экономического района в составе девяти субъектов РФ. Его транспортная система, некогда представленная крупнейшими производственными объединениями водного (Западно-Сибирское, Иртышское и Обь-Иртышское речные пароходства), железнодорожного (Западно-Сибирская железная дорога) и автомобильного транспорта в постсоветский период потеряла свою целостность. На базе пароходств было образовано свыше десятка ОАО и ООО, а в дальнейшем появилось свыше ста частных судоходных компаний. В 2003 г. Западно-Сибирская железная дорога стала филиалом ОАО «Российские железные дороги». Возникло более двух тысяч независимых операторов, что привело к ухудшению качества услуг и использования подвижного состава. Подобная проблема существует и на автотранспорте, где в докризисный период появилось большое количество «индивидуальных» перевозчиков, привлекающих клиентов низкими ценами, что мешает становлению крупных компаний, ориентированных на долговременные контракты и высокий уровень сервиса // Используются аналитические данные газеты «Континент Сибирь» за 2012 г. //.

Региональная транспортная система, как и вся транспортная система страны, да и экономика в целом, оказалась перед системным вызовом, сочетающим в себе не только социально-экономические и организационно-хозяйственные факторы, но и методологического характера. Практически отсутствует единый подход, единая терминология, единые показатели и критерии для сравнения и анализа результатов эксплуатационной работы видов транспорта, без чего невозможно ставить и решать вопросы пропорционального развития региональных транспортных систем.

Методика и результаты исследования. Исключительное значение в эксплуатационной работе всех видов транспорта имеет параметр «грузоподъемность». Она определяет как технико-технологические, так и экономические аспекты грузовых перевозок. Однако единой методической основы оптимизации весовых норм не существует, в каждой отрасли задача решается по-своему. Вместе с тем, на необходимость согласования и типизации параметров технических средств как элементов единого комплекса указывали классики транспортной науки В.Н. Образцов, В.И. Орлов, В.В. Звонков [1]. На речном транспорте сложилась многолетняя практика эксплуатационно-экономических обоснований, результатом которых явилось создание типоряда (сетки) транспортных судов [2]. В дальнейшем формированию системы эксплуатационно-экономических обоснований развития транспортных средств способствовало создание «Типовой методики определения экономической эффективности капитальных вложений и новой техники в народном хозяйстве СССР».

В эксплуатационно-экономических обоснованиях грузоподъемности использовались варианты расчеты, аналитические и графо-аналитические методы, методы линейного и динамического программирования, имитационное моделирование. Большое число авторов пыталось дать аналитическое решение задачи. Весьма интересные, но сложные и к тому же с большим числом допущений решения по речным судам и составам предложены В.В. Звонковым, В.П. Мироновым, В.Н. Померанцевым, Г.В. Веселовым, Н.С. Фроловым, К.И. Трункиным, Н.П. Масленниковым, С.Н. Масленниковым, Н.А. Юминым и др. [3].

Для расчета оптимальной грузоподъемности морских судов В.Г. Глушко [4] предложил следующую формулу

$$Q = \sqrt{\frac{AP\ell}{2Cv\varepsilon}}, \quad (1)$$

где A, C – показатели экономических условий,

P – средневзвешенная производительность грузовых работ, т/ч;

ℓ – пробег судна с грузом, км;

ε коэффициент использования грузоподъемности

$$\varepsilon = G/Q. \quad (2)$$

Коэффициент (2), учитывает число грузовых операций за оборот судна: погрузку и выгрузку.

Для того, чтобы формула соответствовала конкретным условиям работы морских судов (например, при $P = 200$ т/ч, $v = 30$ км/ч, $\ell = 3000$ км, $\varepsilon = 0,8$) соотношение экономических показателей A/C должно превышать 1000

$$Q = \sqrt{\frac{1000 \cdot 200 \cdot 3000}{2 \cdot 30 \cdot 0,8}} = 3535 \text{ т.}$$

Средний дедвейт морских судов России превышает 4000 т.

На железнодорожном транспорте оптимальный вес грузового поезда (массу груза в составе) рекомендуется устанавливать по формуле [5], которую можно привести к виду, аналогичному (1)

$$Q = \sqrt{\frac{K P \ell C_{бч}}{v \varepsilon C_{м-ч}}}, \quad (2)$$

где K – эмпирический коэффициент, учитывающий специфические условия работы железных дорог

$$K = \frac{24}{K_1 K_2 K_3 K_4},$$

K_1 – число назначений плана формирования;

K_2 – параметр накопления грузовых вагонов;

K_3 – отношение веса поезда нетто к весу поезда брутто;

K_4 – коэффициент участковой скорости;

$C_{бч}/C_{м-ч}$ – соотношение затрат по содержанию локомотива и вагонов;

ℓ – дальность следования грузовых поездов без переформирования, км.

В этой формуле принято

$$P = G_g / (24 \cdot 365), \quad (3)$$

где G_g – годовой грузопоток на рассматриваемой железнодорожной линии, т.

Для проверки соответствия формулы (2) реальным условиям работы железнодорожного транспорта рассчитаем оптимальную грузоподъемность состава на участке Татарская-Омск протяженностью 170 км. Примем: $G_g = 100$ млн. т, $v = 40$ км/ч; $K = 0,32$; $\varepsilon = 0,8$; $C_{бч}/C_{м-ч} = 1000$.

Полученный результат (4405 т) близок к фактическим данным по среднему весу состава: 4100 т за 2011 г.

Идентичность формул (1) и (2) не случайна: они получены исследованием на минимум функции затрат на перевозку грузов

$$S = \frac{B}{Q} + D + EQ; \quad (4)$$

$$B = \frac{C_x}{\varepsilon v}; \quad D = \frac{2C_{cm}}{P\ell}; \quad E = \frac{C_H}{P\ell},$$

где C_x, C_{cm} – соответственно судо-часовой показатель затрат по содержанию единицы подвижного состава на ходу и на стоянке, руб./ч;

C_H – удельный показатель затрат на накопление и хранение груза, руб./(т·ч).

Исследовав уравнение (4) на минимум, получим оптимальное значение грузоподъемности единицы подвижного состава

$$Q = \sqrt{\frac{C_x P \ell}{C_H \varepsilon v}}. \quad (5)$$

Существенным недостатком формулы (5), особенно ощутимым на водном транспорте, является то, что скорость рассматривается как постоянная величина, в то время как она существенно зависит от грузоподъемности Q . Кроме того, для расчетов по формуле надо заранее задавать значения затрат по содержанию единицы подвижного состава C , а они, как известно, также зависят от грузоподъемности $C = f(Q)$.

Если же перейти к удельным показателям затрат C_x, C_{cm} , руб./(т·ч), то оптимизация, в случае предположения о их функциональной связи с грузоподъемностью Q , теряет всякий смысл, так как уравнение (4) приобретает вид

$$S = \frac{C_x}{\varepsilon v} + (C_H + C_{cm}) \frac{Q}{P\ell}.$$

Только в случае учета масштабного эффекта: чем выше грузоподъемность, тем меньше

удельные расходы по подвижному составу, задача обоснования грузоподъемности является экстремальной. В работе [6] предлагается учитывать масштабный эффект по формуле

$$C = C_0 \left(\frac{Q}{Q_0} \right)^d, \quad (6)$$

где Q_0 – грузоподъемность, т;

C_0 – текущие издержки по содержанию произвольно выбранного судна-прототипа, руб./ч.

Тем же автором на основе анализа данных по серийным транспортным речным судам получена зависимость

$$v = aQ^b,$$

где a, b – эмпирические коэффициенты.

В таком случае уравнение (4) принимает следующий вид

$$S = \frac{B}{Q^k} + DQ^d + EQ, \quad (7)$$

где $k = 1 + b - d$.

Преобразуем выражение (7) к виду

$$S = \frac{B}{Q^k} + D_1 Q^d; \quad (8)$$

$$D_1 = k_{ep} D.$$

где k_{ep} – коэффициент, учитывающий затраты по накоплению и хранению груза

$$k_{ep} = 1 + \frac{E}{DQ_0^{1-d}}.$$

Исследованием функции (8) на минимум получено оптимальное значение грузоподъемности

$$Q_{opt} = \left(\frac{d k_{ep} D_1}{kB} \right)^{1+b},$$

или

$$Q_{opt} = \left(\frac{2ad \varepsilon k_{ep} C_{x0}}{kP\ell C_{cm0}} \right)^{1+b}. \quad (9)$$

Для проверки формулы (8) в реальных условиях эксплуатации речных составов в Обь-Иртышском бассейне (доставка щебня из Томска в пункты Средней Оби) примем: $a = 3$ (движение вниз); $b = 0,2$; $d = 0,8$; $P = 100$ т/ч; $\ell = 1200$ км; $\varepsilon = 1$; $k_{ep} = 1,05$; $C_{x0}/C_{cm0} = 3$

$$Q_{opt} = \left[\frac{2 \cdot 3 \cdot 0,8 \cdot 1 \cdot 1,05 \cdot 3}{(1 + 0,2 - 0,8) 100 \cdot 1200} \right]^{1+0,2} = 5167 \text{ т.}$$

Чаще всего, по данным Томской судоходной компании, на этом участке используются составы из двух барж общей грузоподъемностью 5600 т.

Очевидно, что у железнодорожных составов техническая скорость обратно пропорциональна грузоподъемности. С достаточной в ориентировочных расчетах точностью в формуле $v = aQ^b$ можно принять $a = 100$, $b = -0,1$: для состава грузоподъемностью 2000 т скорость равна 47 км/ч, грузоподъемностью 4000 – 44 км/ч. Однако в таком случае формула (9) теряет смысл, поскольку значение $1 + b + d$ близко к нулю.

Заменим в формуле (2) скорость выражением $v = aQ^b$ и получим аналитическое выражение для расчета оптимальной грузоподъемности железнодорожных составов, идентичное формуле (9)

$$Q_{opt} = \left(\frac{a \varepsilon C_{бч}}{kP\ell C_{m-ч}} \right)^{2+b}. \quad (9)$$

При исходных условиях, принятых для участка Татарская-Омск, значение оптимальной грузоподъемности железнодорожных составов равно

$$Q_{opt} = \left(\frac{100 \cdot 0,8 \cdot 1000}{0,32 \cdot 11415 \cdot 170} \right)^{2-0,1} = 4230 \text{ т.}$$

Полученные результаты могут служить основой для разработки универсальной методики, пригодной для обоснования наиболее важного эксплуатационного показателя – грузо-

подъемности речных и железнодорожных составов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Звонков, В.В. Комплексная типизация технических средств внутреннего водного транспорта / В.В. Звонков. -М.: Речиздат, 1948. -175 с.
- 2 Арсеньев, С.П. Научно-методические основы развития перевозочных средств внутреннего водного транспорта: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / С.П. Арсеньев. -М., 1968. -38 с.
- 3 Никифоров, В.С. Управление грузовыми перевозками: принципы, стандарты, технологии / В.С. Никифоров. - Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. -205 с.
- 4 Глушко, В.Г. Исследование некоторых функциональных зависимостей на транспорте / В.Г. Глушко // Материалы семинара по кибернетике. -Кишинев, 1970. -Вып.18.
- 5 Дмитренко, А.В. Принципы установления оптимального веса грузовых поездов на железнодорожных линиях / А.В. Дмитренко // Вестн. трансп. -2011. -№9. -С. 28.
- 6 Никифоров, В.С. Логистика: учебник / В.С. Никифоров. -М.: Транслит, 2013. -256 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *подвижной состав, эксплуатационные параметры, оптимальная грузоподъемность*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Кречетова Ксения Александровна, ведущий бухгалтер ЗСРОЦО – СП ЦКУиО «Желдоручет», филиал ОАО «РЖД»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630004, г.Новосибирск, ул.Вокзальная магистраль, 14, ЗСРОЦО – СП ЦКУиО «Желдоручет», филиал ОАО «РЖД»*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕНЕДЖМЕНТА СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Бунеев

EFFECTIVE MANAGEMENT OF THE SHIPPING COMPANY
Novosibirsk state academy of water transport
V.M. Buneev

V.M. Buneev

The article present problem of the functioning of the management system of the shipping company, its assessment and improvement.

Keywords: shipping company, management, efficiency

Изложена проблема эффективности функционирования системы менеджмента судоходной компании, ее оценки и совершенствования.

Менеджмент судоходной компании представляет собой сложную, многоуровневую и многофункциональную систему. По уровню можно выделить стратегический и оперативный менеджмент. Сущность стратегического состоит в управлении судоходной компанией либо фирмой в соответствии с выбранной стратегией достижения глобальных целей в долгосрочной перспективе. Оперативный менеджмент представляет собой подсистему, направленную на решение текущих, повседневных задач в соответствии со сделанными стратегическим выбором.

Важным элементом оперативного менеджмента является оперативное управление транспортным процессом при перевозке грузов и пассажиров, а также работой флота. Организационной формой его реализации является диспетчерское руководство [6].

Многофункциональность системы менеджмента обусловлена совокупность функций в управленческой деятельности по организации и координации факторов производства для достижения поставленных целей. Основными функциональными областями менеджмента являются:

- внутрипроизводственное (навигационное) планирование;
- финансовый менеджмент;
- инвестиционный менеджмент;
- кадровый менеджмент (управление персоналом);
- производственно-технологический менеджмент;
- маркетинг и т.д.

Современный менеджмент – особый вид деятельности, направленной на обеспечение доходности и прибыльности компании или фирмы путем рациональной организации производственного (транспортного) процесса, включая управление производством, развитием технической и технологической базы, эффективное использование имеющихся ресурсов.

Ситуация на рынке транспортных услуг постоянно изменяется под влиянием макроэко-

номических и микроэкономических процессов. В связи с этим целью менеджмента судоходной компании является оценка факторов риска или рисков ситуаций не только в настоящем, но и в будущем, для предотвращения либо снижения возможных потерь и убытков.

Предназначение менеджмента состоит в организации и обеспечении рентабельной стабильной деятельности судоходной компании по перевозке грузов и пассажиров с учетом спроса на рынке транспортных услуг на основе имеющихся ресурсов. В этой связи основными задачами менеджмента являются:

- постоянный поиск и освоение новых грузовых потоков;
- определение конкретных целей развития судоходной компании или фирмы;
- выявление приоритетных целей и установление последовательности их достижения;
- разработка стратегии развития компании;
- выработка системы мероприятий для достижения намеченных целей в различные сроки;
- определение потребности в ресурсах и источников их пополнения;
- постоянный контроль эффективности производственно-хозяйственной деятельности компании и реализации поставленных задач;
- стимулирование работы сотрудников, создавая для них лучшие условия труда и установления более высокой заработной платы с учетом повышения квалификации;
- координация работы всех подразделений судоходной компании.

Эффективность как экономическая категория и понятие, характеризует полезный результат использования ресурсов и средств в процессе достижения поставленных целей и соответствие интересам экономического субъекта, в качестве которого выступает судоходная компания. Общий показатель экономической эффективности определяется как соотношение достигнутого полезного результата и величины средств, затраченных на его достижения. В рамках судоходной компании такие затраты являются усилием всего коллектива.

Для оценки эффективности менеджмента необходимо выделить его участие в полученном полезном результате. Показателем такой оценки служит соотношение результатов реализации управленческих решений в системе менеджмента и связанных с этим затрат

$$R_e = \frac{\Delta\Pi}{\mathcal{E}_m + \Delta\mathcal{E}_m}, \quad (1)$$

где $\Delta\Pi$ – прирост прибыли, полученной в результате принятия и реализации решений в системе менеджмента, руб.;

\mathcal{E}_m – затраты (эксплуатационные расходы) по содержанию системы менеджмента, руб.;

$\Delta\mathcal{E}_m$ – затраты, обусловленные принятием к реализации ошибочных решений, руб.

Прирост прибыли, полученный в результате принятия и реализации решений в системе менеджмента судоходной компании определяется следующим образом

$$\Delta\Pi = \Delta\Pi_1 + \Delta\Pi_2 + \Delta\Pi_3, \quad (2)$$

где $\Delta\Pi_1, \Delta\Pi_2, \Delta\Pi_3$ – прирост прибыли, полученной за счет повышения качества транспортных услуг и рациональной тарифной политики, снижения себестоимости перевозок грузов и пассажиров, а также увеличения объема транспортной работы, руб.

Первая составляющая прироста прибыли рассчитывается по выражению

$$\Delta\Pi_1 = G_n (T_p - T_0), \quad (3)$$

где G_n – объем транспортных услуг, выполненный за счет повышения их качества и регулируемого тарифа, т (пасс.);

T_p – тариф при повышении качества услуг и его регулировании, руб./т;

T_0 – базовый тариф, руб./т(руб./пасс.).

$$\Delta\Pi_2 = (S_0 - S) A_0, \quad (4)$$

где S_0 – базовая стоимость перевозок, руб./т·км(руб./пасс.·км);

S – себестоимость перевозок с учетом мероприятий по ее снижению, руб./т·км(руб./пасс.·км);

A_0 – базовый объем транспортных услуг, т·км(пасс.·км).

Прирост прибыли за счет увеличения объема транспортных услуг

$$\Delta\Pi_3 = (d_T - S_0)(A - A_0), \quad (5)$$

где d_T – тарифная (доходная) ставка, руб./т·км(руб./пасс·км);

A – объем транспортных услуг с учетом реализации мероприятий по их увеличению, т·км (пасс·км).

Результатом реализации управленческих решений в системе менеджмента является эффект управления. Он складывается из трех составляющих [7]:

– экономический эффект в непосредственно стоимостной форме, которой измеряется в стоимостном либо натуральном выражении (прибыль, затраты, объем транспортных услуг, себестоимость перевозок, валовая производительность флота и т.д.);

– социально-экономический эффект, который сочетает экономическую выгоду и социальную стабильность (дисциплина, текучесть кадров и т.д.);

– социально-психологический эффект, который не может быть оценен количественно и не выражает экономическую сущность, например акции неповиновения и протеста.

Эффективность функционирования системы менеджмента и результата реализации принятых управленческих решений во многом зависят от достоверности и качества информации, а также научной обоснованности при их разработке. Методические принципы решения оптимизационных задач на речном транспорте изложены в работах [1, 2].

Анализируя комплекс задач в системе менеджмента судоходной компании можно выделить из их состава два блока наиболее значимых. Первый – рациональное, экономически целесообразное использование имеющихся производственных, трудовых, экономических и финансовых ресурсов для достижения целей организации, внедрения передовых методов труда и рациональной технологии. Второе – выбор оптимальной стратегии технического, экономического и социального развития предприятия, разработка основных концептуальных направлений и их реализация в конкретных решениях.

Первый блок управленческих решений реализуется, как правило, без привлечения дополнительных финансовых результатов и инвестиций. Исключение могут составить решения, направленные на внедрение передовых методов труда, новой техники и рациональной технологии. Объем инвестиций здесь незначителен по сравнению со вторым блоком управленческих решений, реализация которых вообще невозможна без них.

Рассматривая судоходную компанию в качестве объекта управления, в первый блок решений следует отнести, прежде всего, обоснование и внедрение рациональных, экономически целесообразных схем освоения и способов перевозки; использование видов флота и типов судов в рациональных сферах и участках их работы; разработка и реализация оптимального плана организации перевозок и работы флота. Комплекс этих задач образует систему эксплуатационно-экономического обоснования организации транспортного процесса при перевозке грузов. Отдельные элементы такой системы могут быть задачи, решение которых направлено на разработку мероприятий на повышение эффективности производственно-хозяйственной деятельности судоходной компании, а также формирование конкурентных преимуществ [3].

Второй блок задач направлен на формирование рациональной структуры технических средств предприятия, для судоходной компании – это транспортный флот, речного порта – перегрузочная техника и оборудование, судоремонтного предприятия – технические средства, используемые при выполнении судоремонтных работ. В перечень таких задач входят: обоснование структуры транспортного флота по типам судов; оптимизация типов судов и составов, их основных параметров; обоснование стратегии замены и пополнения судов [4].

Учитывая многообразие и сложность управленческих решений в системе менеджмента судоходной компании, важное значение имеет выбор критерия оптимизации. Прежде всего, необходимо обеспечить совместимость его с общим показателем экономической эффективности системы менеджмента, формула (1). Так, для поиска решения задач перспективного характера (второй блок) наиболее приемлемым является чистый дисконтированный доход [4] или прибыль при эндогенном определении цен [5]. При решении текущих и оперативных задач (первый блок) могут быть использованы себестоимость перевозок и переменная составляющая текущих издержек, когда не требуется обоснование договорных цен. В противоположных случаях, решение может быть получено по максимуму маржинальной прибыли.

В заключение следует отметить, что от обоснованности разработанных и принятых управленческих решений, полноты их реализации во многом зависит эффективность функционирования системы менеджмента судоходной компании. Это в свою очередь влияет на ее благополучие и успешность в достижении поставленных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бунеев, В.М. Методические основы менеджмента на речном транспорте / В.М. Бунеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 43-45.
- 2 Бунеев, В.М. Оценка рыночных фактов при принятии решений в системе менеджмента судоходной компании / В.М. Бунеев, Р.В. Васильев, Е.А. Григорьев // Сиб. науч. вестн. / ФБОУ ВПО «Новосиб. гос. акад. вод. трансп.»; Новосибир. науч. центр РАЕН. -Новосибирск, 2012. -Вып.ХVI. -С. 223-227.
- 3 Бунеев, В.М. Формирование системы конкурентных преимуществ судоходной компании / В.М. Бунеев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2006. -№1. -С. 21-25.
- 4 Бунеев, В.М. Стратегия формирования рациональной структуры технических средств речного транспорта: методы обоснования, инвестиции и финансирование / В.М. Бунеев, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Сиб. соглашение, 2002. -184 с.
- 5 Быков, Г.С. Эффективность речного транспорта в инвестиционных проектах развития Сибири / Г.С. Быков, В.А. Виниченко, Н.Н. Путилова. -Новосибирск: Новосибир. гос. акад. вод. трансп., 2012. -145 с.
- 6 Зачёсов, В.П. Управление работой флота: учеб. пособие для студентов ВУЗов вод. трансп. / В.П. Зачёсов, И.А. Рагулин. -Новосибирск: Новосибир. гос. акад. вод. трансп., 2008. -305 с.
- 7 Общий менеджмент: основы электрон. учеб.: учеб. пособие для студентов / С.С. Цукарев, [и др.]; под общ. ред. О.С. Краснова, С.П. Кретьова, С.С. Шибяевой. -2-е изд., испр. и доп. -Новосибирск: Наука, 2006. -444 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: судоходная компания, менеджмент, эффективность
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бунеев Виктор Михайлович, докт. экон. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

О ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА РОСПУСКА ВАГОНОВ, ЗАГРУЖЕННЫХ ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ, С СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.М. Островский, А.М. Лисютин

ON INCREASING THE SAFETY OF DANGEROUS GOODS CARRIAGES DESCENT
Siberian state transport university
A.M. Ostrovskiy, A.M. Lisytin

Different modes of dangerous goods carriages descent are considered and analysed. An optimized technological flowchart and the safe operation of dangerous goods carriages descent are proposed.

Keywords: railway yard, carriages, dangerous goods, safety, descent

Рассмотрен и проанализирован процесс различных режимов роспуска с сортировочных горок вагонов с опасными грузами. Предложены оптимизированная технологическая схема роспуска и варианты безопасного выполнения операций по роспуску вагонов с опасными грузами.

В настоящее время к перевозке различными видами транспорта, в том числе железнодорожным, предъявляется около 3 800 наименований опасных грузов, в общем грузообороте которые составляют около 25%.

Данный вид перевозимой продукции представляет большую транспортную опасность и требует соблюдения особых мер предосторожности при выполнении всех операций по доставке груза от отправителя до получателя. Поэтому разработка системы процессного управления безопасностью перевозок опасных грузов, защиты объектов транспорта и окружающей среды имеет важное значение.

Одним из главных направлений в повышении безопасности перевозок обозначенного вида продукции является совершенствование технологии переработки вагонов с опасными грузами на сортировочных станциях. Особое внимание следует уделять повышению безопасности процесса роспуска вагонов с такими грузами с сортировочных горок, так как при нарушении технологии роспуска в случае соударений вагонов с опасными грузами высока вероятность возникновения аварийной ситуации.

Причины возникновения соударений на спускной части различные, однако для исключения возможности их возникновения можно установить технологические ограничения на процесс роспуска. В частности, самостоятельное движения отцепа (момент отрыва), в состав которого входят вагоны с опасными грузами, должно начинаться после того, как предыдущий отцеп прошел предельный столбик последней общей стрелки маршрутов скатывания рассматриваемых отцепов. Начало самостоятельного движения следующего отцепа должно определяться по аналогии. В результате маршруты скатывания впереди идущих и последующих отцепов разделяются, при этом исключается возможность нагона одного отцепа другим, а значит и возможность их соударения. Особенностью данной технологии является

необходимость приостановки надвига до момента полного освобождения маршрута скатывания очередного отцепа. Технологическая схема роспуска с указанными ограничениями может быть представлена в виде последовательности, отраженной на рисунке 1.

Следует отметить, что указанная технология приводит к повышению уровня безопасности процесса роспуска вагонов с опасными грузами, но при этом существенно увеличиваются суммарные эксплуатационные расходы на переработку всех вагонов.

Процесс движения отцепов в сортировочном парке отличается меньшими скоростями (по сравнению со спускной частью горки), но при этом после выхода отцепа с парковой тормозной позиции, как правило, отсутствует возможность управления скоростью его движения. Таким образом, не исключается возможность соударения вагонов с опасными грузами со скоростью, превышающей 5 км/ч (нарушение условий безопасности [1]).

Действующими нормами проектирования сортировочных устройств [2] установлено, что основным способом регулирования скорости отцепов является прицельное регулирование, осуществляемое на парковых и частично на пучковых тормозных позициях. В результате на протяжении участка от парковой тормозной позиции до ближайшего, стоящего на сортировочном пути вагона, на скатывающийся отцеп воздействует ряд факторов, которые могут способствовать увеличению скорости движения отцепов. Таким образом, режим прицельного торможения в существующем виде не может гарантировать обеспечение требований безопасности роспуска и неприемлем для использования (без реализации дополнительных мероприятий) при расформировании вагонов с опасными грузами.



Рисунок 1 – Технологическая схема роспуска вагонов с опасными грузами

Задача обеспечения условий безопасности роспуска вагонов с опасными грузами при заполнении сортировочного парка состоит из двух частей:

1 Обеспечение безопасного подхода скатывающегося отцепа, в состав которого входят вагоны с опасными грузами, к ближайшему, стоящему на пути вагону:

– вариант 1: безударная технология, в случае остановки отцепа на сортировочном пути

до места возможного соударения;

– вариант 2: соударение вагонов со скоростью не более 5 км/ч.

2 Обеспечение безопасного подхода очередного отцепа к стоящим на путях вагонам с опасными грузами.

В нормативных документах [1, 2] решение первой части поставленной задачи не рассматривается. Обозначен конечный результат – не допустить соударения вагонов с повышенной скоростью, при этом не предлагаются способы достижения результата. Как уже говорилось, прицельное регулирование не может гарантировать выполнения условий соблюдения допустимых скоростей при соударении вагонов. Следовательно, при имеющемся техническом оснащении необходимо ориентироваться на безударную технологию (вариант 1).

Задачу обеспечения остановки отцепа, в состав которого входят вагоны с опасными грузами, до стоящих на сортировочных путях вагонов можно решить за счет ввода новых элементов технологического процесса [3, 4]. В частности, можно устраивать временные немеханизированные тормозные позиции перед стоящими на сортировочных путях вагонами с целью полной остановки скатывающегося отцепа, в состав которого входят вагоны с опасными грузами. Для этого регулировщики скорости движения должны уложить несколько тормозных башмаков на определенном расстоянии друг от друга, а также от вагонов, стоящих на сортировочном пути. Потребное число башмаков (мощность временной позиции), а также указанные расстояния должны быть определены для конкретных условий роспуска (профиль сортировочных путей, ходовые качества отцепов, скорости их движения и др.).

Нормативными документами [1, 2] установлен порядок технологических операций для решения второй части рассматриваемой задачи обеспечения безопасного подхода очередного отцепа к стоящим на путях вагонам с опасными грузами. Следует отметить, что соответствующий порядок определен только для категории опасных грузов, роспуск которых с горки запрещен (роспуск только с локомотивом). Для опасных грузов, пропускаемых через сортировочные горки в обычном режиме или с особой осторожностью (роспуск в обычном режиме или роспуск с особой осторожностью), безударная технология подхода отцепов к стоящим на сортировочных путях вагонам с опасными грузами может быть также решена путем устройства временных немеханизированных тормозных позиций.

В результате выполненного анализа режимов роспуска в обычном режиме и роспуска с особой осторожностью можно отметить следующее:

– наибольшую опасность представляют соударения вагонов на спускной части горки, так как на данном участке реализуются наибольшие скорости движения отцепов, однако вероятность их возникновения можно существенно снизить за счет совершенствования организации технологического процесса;

– процесс скатывания отцепов по сортировочным путям, как правило, характеризуются отсутствием возможности корректировки скорости их движения и, как следствие, возможны соударения вагонов со скоростями, превышающими допустимые (5 км/ч), в результате необходимо применять дополнительные технологические меры или использовать другие режимы роспуска, позволяющие регулировать скорость движения отцепов на всем маршруте скатывания.

Режимы регулирования скорости скатывания отцепа на всем маршруте могут быть различными, в зависимости от технического оснащения, технологии пропуска отцепов по участку сортировочного парка, вероятности обеспечения условий безопасности.

В соответствии с нормативными документами проектирования сортировочных устройств [2], с целью повышения качества прицельного регулирования рекомендуется:

1 Устанавливать в сортировочном парке дополнительную тормозную позицию с целью компенсации возможных погрешностей реализации и задания скоростей выхода отцепов с парковой тормозной позиции.

2 Применять устройства, обеспечивающие постоянный контроль параметров движения отцепов, длины свободной части сортировочных путей и пространственных интервалов между группами вагонов на путях.

3 Устанавливать метеорологические датчики скорости и направления ветра.

4 Использовать другие способы регулирования скорости движения отцепов в сортировочном парке.

Предложения пунктов 1-3 могут существенно повысить безопасность процесса роспуска вагонов с опасными грузами. Использование дополнительных устройств позволит автоматизировать процессы, протекающие на горочных комплексах, снизить воздействие челове-

ского фактора на процесс роспуска. Однако решить задачу гарантированного обеспечения условий безопасности роспуска вагонов с опасными грузами возможно только при условии непрерывного управления скоростью их движения на всем маршруте. В этой связи следует рассмотреть способы регулирования скорости движения отцепов в сортировочном парке, некоторые из которых успешно применяются на зарубежных железных дорогах (рисунок 2).

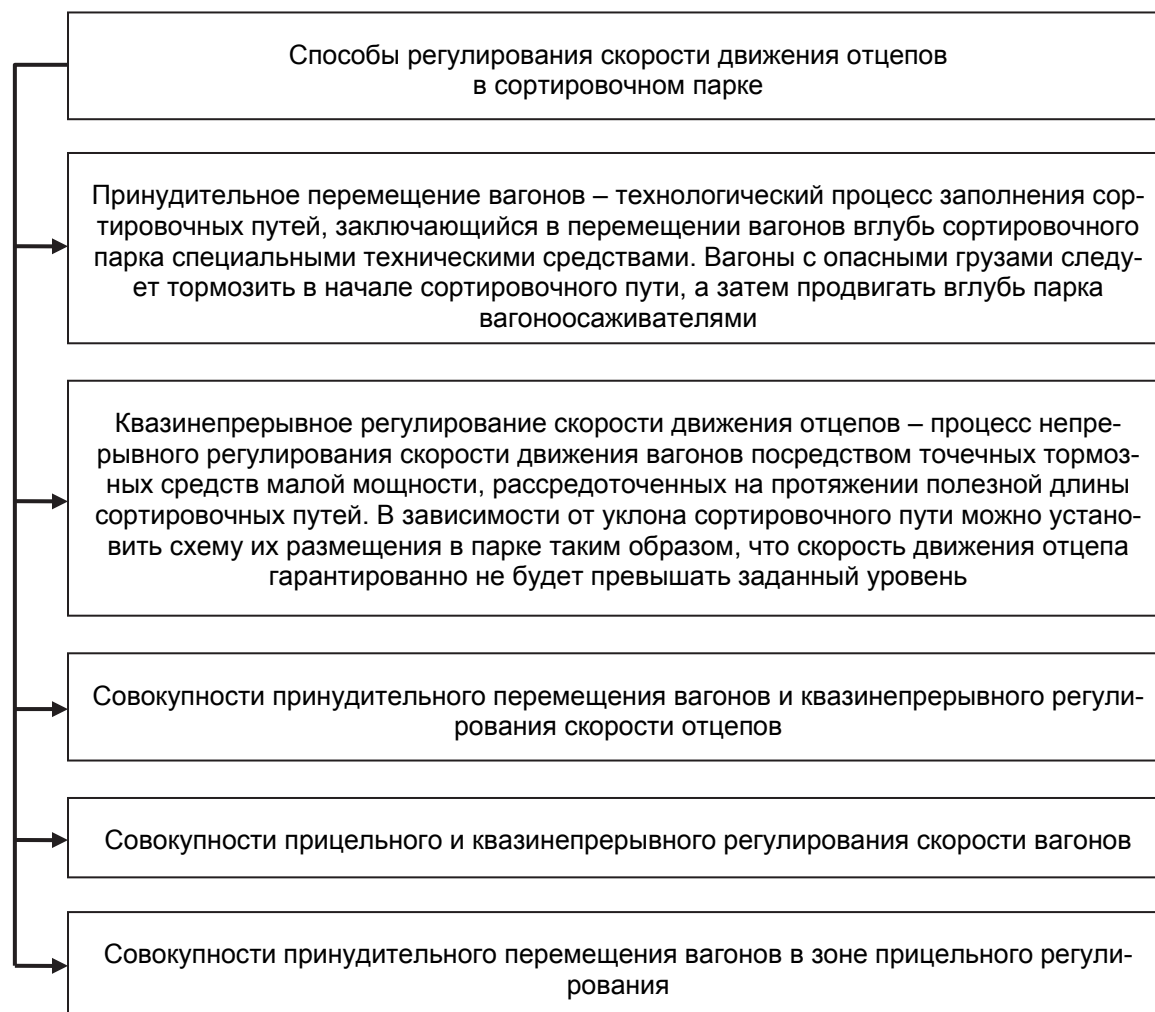


Рисунок 2 – Способы регулирования скорости движения отцепов в сортировочном парке, применяемые за рубежом

Следует отметить, что в нормативных документах [1, 2] не оговаривается порядок формирования отцепа из вагонов с опасными грузами. Возможны два варианта:

- в одном отцепе могут находиться как вагоны с опасными грузами, так и вагоны с обычными грузами;
- в одном отцепе могут находиться только вагоны с опасными грузами.

Необходимость определения порядка формирования отцепов обусловлена тем, что отцепы из нескольких вагонов отличаются от одиночных вагонов динамикой, имеют особенности скатывания и заполнения сортировочных путей, которые необходимо учитывать при решении указанных выше задач, в случае реализации режимов роспуска в обычном режиме или роспуска с особой осторожностью.

В соответствии с режимом роспуска только с локомотивом пропуск вагонов с опасными грузами через горку должен производиться только с локомотивом, при этом возможно использование двух вариантов технологии рассматриваемого процесса:

1 Осаживание вагонов с опасными грузами в сортировочный парк горочным локомотивом. При этом, кроме снижения перерабатывающей способности горки, возникают дополнительные эксплуатационные расходы, связанные:

- с перемещением осаживаемой части роспускаемого состава в сортировочный парк;
- с перемещением оставшейся части состава (без осажённых вагонов) назад (за горочный светофор).

2 Снятие локомотивом вагонов с опасными грузами со стороны подгорочного парка. Выполнение такой операции возможно при наличии свободного сортировочного пути, на который снимается рассматриваемая группа вагонов. После окончания роспуска указанные вагоны с опасными грузами необходимо переставить на соответствующий путь назначения. В результате возникают дополнительные эксплуатационные расходы, связанные с движением как одиночного локомотива, так и локомотива с вагонами, загруженными опасными грузами.

Рассматриваемые варианты характеризуются: с одной стороны – остановкой роспуска, снижением перерабатывающей способности горок и наличием дополнительных эксплуатационных расходов; с другой стороны – высокой вероятностью соблюдения условий безопасности при движении вагонов с опасными грузами от вершины горки до места постановки в накапливаемый на сортировочном пути состав. Выбор того или иного варианта, в основном, зависит от сложившейся оперативной ситуации в системе расформирования на текущий момент времени.

Предлагаемые решения позволяют минимизировать динамические нагрузки на опасные грузы в процессе перевозки, обеспечить сохранность груза и снизить отрицательные воздействия транспорта на окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации. -М.: Трансинфо ЛТД, 2012. -448 с.
- 2 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / МПС РФ. -М.: Техинформ, 2003. -168 с.
- 3 Островский, А.М. Совершенствование нормативно-технической документации на перевозку опасных грузов / А.М. Островский, А.М. Лисютин, В.В. Наперов // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт-2009». В 3 ч. / Рост. гос. ун-т. путей сообщения. -Ростов н/Д, 2009. -Ч.2. -С. 354-355.
- 4 Островский, А.М. О снятии ограничений с ряда опасных грузов, запрещенных к роспуску с сортировочных горок / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Труды Всероссийской научно-практической конференции «Транспорт-2012» / Рост. гос. ун-т. путей сообщения. -Ростов н/Д, 2012. -С. 246-247.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сортировочная станция, вагоны, опасные грузы, безопасность, роспуск с горки
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Лисютин Антон Михайлович, научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОСТАНОВКИ ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ НА ПУТИ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.М. Островский, А.М. Лисютин

ON SOME SPECIAL FEATURES OF LOCATING DANGEROUS GOODS CARRIAGES ON A GRIDIRON

Siberian state transport university

A.M. Ostrovskiy, A.M. Lisyutin

Some special features of locating dangerous goods carriages on a gridiron are considered; recommendations for improving the safety of technological operations are given. Measures to improve the quality of filling the gridiron based on the analysis of dangerous goods carriages brake systems are proposed.

Keywords: transportation, railway, carriages, dangerous goods, gridiron

Рассмотрены особенности постановки вагонов с опасными грузами на сортировочные пути, даны рекомендации по повышению безопасности выполнения технологических операций. На основании анализа систем торможения вагонов с опасными грузами предложены мероприятия по повышению качества заполнения сортировочных путей.

Одним из основных объектов, на которых перевозимые по железным дорогам опасные грузы наиболее подвержены динамическим нагрузкам, способствующим возникновению аварийных ситуаций, являются сортировочные станции. Поэтому совершенствование технологии работы с использованием сортировочных устройств является главным направлением в обеспечении безопасности перевозок опасных грузов.

Следует отметить, что одним из наиболее проблемных элементов отмеченной технологии является выполнение операций с вагонами, загруженными опасными грузами, на путях сортировочного парка, поскольку после постановки таких вагонов на сортировочный путь

возникает задача недопущения соударения с ними последующих вагонов.

В нормативно-технической документации [1] регламентируется порядок выполнения соответствующих технологических операций. В частности, при постановке на сортировочные пути вагонов с взрывчатыми материалами (ВМ), а также цистерн со сжиженными газами или порожних цистерн из-под сжиженных газов в технологическом графике работы сортировочной горки должно быть дополнительно предусмотрено ограждение этих вагонов со стороны горки двумя охранными тормозными башмаками, укладываемыми на оба рельса, один из которых – на расстоянии не менее 25 м от стоящих вагонов с ВМ, другой на расстоянии 25 м от этого тормозного башмака (на другой рельс ограждаемого пути), чтобы общее расстояние от ограждаемых вагонов с ВМ было не менее 50 м.

Последующие отцепы, направляемые на эти пути, должны быть остановлены до места расположения охранных тормозных башмаков. Следует отметить, что в нормативных документах не установлен способ остановки последующих отцепов. При роспуске в обычном режиме и роспуске с особой осторожностью остановка последующих отцепов осуществляется за счет их прицельного торможения на парковой тормозной позиции. При этом нет гарантии того, что отцеп остановится до места расположения охранных башмака. Таким образом, может произойти смещение тормозного башмака в сторону ограждаемых вагонов. Из этого следует, что расстояние 50 м можно рассматривать как дополнительную тормозную позицию, мощность которой должна гарантированно обеспечивать остановку отцепа на протяжении ее длины.

При роспуске возможны нештатные ситуации, отказы в работе технических устройств, в том числе и систем торможения. В этой связи нельзя исключать вероятность возникновения ситуации, когда на путь, где стоят вагоны с ВМ, огражденные по указанной схеме, вышел отцеп с большой скоростью, уменьшить которую смогут только охранные башмаки. В этой связи для оценки надежности ограждения вагонов с ВМ по существующей схеме необходимо определить максимальную мощность данной тормозной позиции, с целью установления предельно допустимых скоростей входа на нее отцепов.

Наличная мощность немеханизированной тормозной позиции определяется по формуле

$$H_{mn} = f \frac{\sum P \ell_{юз}}{\sum q},$$

где f – коэффициент тормозного действия башмака (принимается равным 0,17 с возможной корректировкой в реальных условиях в пределах $\pm 0,03$);

P – нагрузка на ось, колесо которой тормозится башмаком, тс;

$\ell_{юз}$ – длина тормозного пути (юза), м;

$\sum q$ – вес отцепа, тс.

Например, если на путь вышел 75-ти тонный четырехосный одиночный вагон, то максимальная мощность рассматриваемой позиции будет равна:

$$H_{mn} = 0,17 \frac{20 \cdot 50 + 20 \cdot 25}{75} = 3,4 \text{ м.}$$

Данной мощности будет достаточно, чтобы затормозить отцеп у стоящего на сортировочном пути вагона при скорости входа отцепа на первый башмак 7,84 м/с (при условии расположения рассматриваемого участка пути на горизонтальной площадке). При наличии уклона сортировочного пути допустимая скорость входа отцепа на первый башмак будет уменьшаться, а с учетом того, что соударение вагонов со скоростью 3-5 км/ч и менее считаются допустимыми можно заключить, что скорость входа отцепа на первый тормозной башмак при рекомендуемой схеме ограждения не должна быть выше 8-9 м/с.

В соответствии с принципом концентрации операций по переработке вагонов с опасными грузами на крупных, хорошо технически оснащенных горочных станциях, можно сделать вывод, что большинство рассматриваемых вагонов перерабатывается на горках повышенной, большой или средней мощности. Такие горки характеризуются большой высотой и высокими скоростями роспуска. Поэтому в случае отказа технических систем, в результате которого может произойти выход отцепа на путь, где стоят вагоны с опасными грузами, огражденными по рекомендуемой схеме, нельзя исключать возможности входа отцепа на первый охранный башмак со скоростью 8-9 м/с. Данный уровень скоростей в сортировочном парке маловероятен, но полностью исключать возможность разгона отцепа до такой предельной

скорости нельзя. Следовательно, установленная нормами схема ограждения в сортировочном парке вагонов с ВМ не может гарантировать обеспечение безударной технологии роспуска.

Согласно нормативным требованиям [1], остановка последующих отцепов должна осуществляться до тех пор, пока не накопится группа, состоящая не менее чем из 10 физических вагонов. Только после того, как вагоны прикрытия будут соединены с ограждаемыми вагонами с ВМ, может быть восстановлен установленный для последующих отцепов режим роспуска.

Если расстояние от стоящих на сортировочных путях вагонов с ВМ или цистерн со сжиженными газами (из-под сжиженных газов) до конца парковой тормозной позиции со стороны горки менее 50 м, то последующие отцепы на эти пути должны направляться только посредством осаживания локомотивом. Данное положение нуждается в доработке, так как если расстояние от первого охранного башмака, расположенного со стороны горки, до парковой тормозной менее длины очередного отцепа, то необходимо будет выполнять предварительное осаживание наполненных на рассматриваемом пути вагонов.

Таким образом, формулировка рассматриваемого положения должна быть следующая – если расстояние от стоящих на сортировочных путях вагонов с ВМ или цистерн со сжиженными газами (из-под сжиженных газов) до конца парковой тормозной позиции со стороны горки менее суммы длин очередного отцепа и участка ограждения (50 м), то последующие отцепы на эти пути должны направляться только посредством осаживания локомотивом.

Несмотря на различные условия эксплуатации сортировочных горок в нашей стране и за рубежом и отличающиеся подходы к проектированию горочных сортировочных устройств, проблема обеспечения качественного заполнения подгорочных путей существует и на железных дорогах зарубежных стран [2]. Результаты анализа научной литературы, связанной с проектированием и эксплуатацией сортировочных горок за рубежом, показали, что решение вопросов, касающихся обеспечения качественного заполнения путей накопления вагонов на железных дорогах других стран, как правило, происходит за счет внедрения новых технических средств, прежде всего, устройств торможения вагонов и контроля заполнения путей.

Имеющиеся за рубежом технические устройства ориентированы на два аспекта процесса заполнения сортировочных путей: обеспечение высокой степени заполнения полезной длины путей и соблюдение допустимых скоростей движения вагонов в момент соударения.

Достаточно широкое распространение на сортировочных горках ряда зарубежных стран получила система регулирования скорости движения вагонов с использованием точечных вагонных замедлителей типа «Даути», «TDJ». Подобные маломощные устройства являются неуправляемыми, торможение вагонов на них выполняется, исходя из единственного условия – превышения установленной контрольной скорости. Определения ходовых свойств отцепов, расчета и измерения скорости выхода с тормозной позиции при этом не производится. Системы подобного типа нашли применение на сортировочных горках Германии, Австрии, Венгрии, КНР. Основных вариантов размещения точечных замедлителей два. В первом случае торможение отцепов на горке и путях накопления осуществляется только точечными замедлителями; во втором случае подобные маломощные замедлители размещаются только на сортировочных путях, а на спускной части горки используются замедлители других типов (например, балочные).

Другой вариант системы торможения вагонов основывается на использовании на путях дополнительной тормозной позиции, размещаемой на удалении 150–200 м за первой парковой тормозной позицией. В некоторых разновидностях такой системы на дополнительной парковой тормозной позиции используются точечные замедлители. Подобные схемы торможения нашли применение на ряде сортировочных горок Японии.

Исследования влияния работы различных технических систем на качество заполнения путей показывают следующее:

- использование точечных вагонных замедлителей на дополнительной парковой тормозной позиции способствует сокращению маневровой работы по осаживанию вагонов примерно на 9%, по сравнению с использованием прицельного торможения на одной парковой тормозной позиции;

- использование точечных вагонных замедлителей на полезной длине сортировочных путей со специальным профилем улучшает степень заполнения путей на 15% и позволяет обеспечить допустимые скорости соударения вагонов на путях.

Применение предлагаемых решений позволит повысить качество обработки вагонов с

опасными грузами на сортировочных станциях, сократить транспортные издержки, снизить риски возникновения аварийных ситуаций, создать безопасные условия работы персонала, участвующего в перевозочном процессе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации. -М.: Трансинфо ЛТД, 2012. -448 с.

2 Островский, А.М. Пропуск вагонов с опасными грузами через сортировочные горки / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Современные направления теоретических и прикладных исследований – 2012». Транспорт. -Одесса, 2012. -Т.2. -С. 38-42.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: перевозки, железная дорога, вагоны, опасные грузы, сортировочные пути

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Лисютин Антон Михайлович, научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

КАДРОВЫЕ ВОПРОСЫ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Р.И. Павленко

STAFFING ISSUES IN THE INLAND WATER TRANSPORT

Novosibirsk state academy of water transport, Habarovsk branch

R.I. Pavlenko

The problems of training for inland water transport industry.

Keywords: personnel training, water transport

Рассмотрены проблемы подготовки специалистов для отрасли внутреннего водного транспорта.

Какой мальчишка после окончания школы не стоял перед выбором будущей профессии и зачастую одерживала верх романтика голубых дорог, профессия настоящих мужчин – профессия речника. Потом была учёба в профильных учебных заведениях, бессонные ночи ходовых и стояночных вахт, рост по карьерной лестнице и большая гордость за свою профессию. Всё это было и многие из нас прошли этим путём, не жалея ни одной минуты о правильности выбора жизненного пути.

Сегодня мы живём в совершенно другой стране. Изменилась жизнь, изменилось законодательство и на внутреннем водном транспорте, в вопросах комплектования экипажей, особенно на Дальнем Востоке, сложилась непростая ситуация. Дело даже не в низком уровне оплаты труда и временной потере престижности профессии речника, сезонность работы – вот главный отрицательный фактор, влияющий на этот процесс. Если в западных регионах Российской Федерации навигация может продлиться до 8-9 месяцев в году, то в северных и восточных областях, в том числе в Амурском бассейне, этот период не превышает 6 месяцев. Остальное время года речные суда стоят на зимовках в затонах, принося судовладельцу расходы по зимнему отстою и ремонту. Для речников устроиться на работу в другое судовладельческое предприятие в зимний период практически невозможно по причине зимнего сезона, поэтому экипажи, являясь по существу заложниками своей профессии, в стремлении выполнения своей прямой обязанности – материально содержать семьи, вынуждены искать на каждую зиму временную работу на берегу, а весной снова увольнение и выход на своё судно. Отсюда текучка, отсутствие желания у молодёжи идти в профессию, а если кто принял решение работать на флоте, закончил учебное заведение и получили дипломы, то после первой же навигации – армия и потерян человек для флота, так как приход его после службы на флот крайне редкое явление.

Существует ещё один момент – это забота государства об отрасли. Не требует доказательств тот факт, что наряду с другими видами транспорта внутренний водный на сегодня является самым безопасным. Одиночные случаи транспортных происшествий на внутреннем водном транспорте по своей периодичности не идут ни в какие сравнения с транспортными происшествиями на авиационном и автомобильном транспорте. Тем более, что совершают происшествия на внутренних водных путях суда, полностью прошедшие государственный надзор и контроль, то есть полностью соответствующие требованиям документов

о безопасности судоходства, другие суда попросту никто в рейс не выпустит. Вместе с тем основной причиной происшествий является как обычно человеческий фактор.

Последние годы на уровне государства вводятся новые органы надзора, реализуются всевозможные государственные программы, такие как «Транспортная безопасность объектов транспортной инфраструктуры и транспортных средств», «Система управления безопасной эксплуатацией судов». К сожалению, ввиду их высокой затратности, большинство подобных программ остаётся на бумаге, в том смысле, что на бумаге-то как раз всё хорошо, проведено обучение персонала, назначены ответственные лица, введены и реализованы формы отчётов, работают всевозможные проверочные комиссии, но отношение судовладельца к флоту, к людям, которые работают на судах, не меняется, несмотря на то, что нагрузка на членов экипажа судна многократно увеличилась. Социальная политика судовладельца неизменно остаётся прежней как по уровню заработной платы, так и по другим социальным вопросам, а государственная поддержка дальневосточников очень избирательна. Создаётся впечатление, что работодателя интересует одно – весной принять человека на работу, а осенью уволить его «в запас» да весны, поэтому на флоте последние годы пополнения кадров нет. Остаются работать на Амурском флоте лишь те, кто навсегда прикипел к судам и кому поздно менять профессию. По сравнению с прежними данными в Амурском бассейне сегодня впервые появилась новая причина невыхода судов в рейс после ремонта и зимнего отстоя – неуккомплектованность экипажем. Для выравнивания ситуации судовладельцы используют разнообразные законные средства, такие как временный перевод судна на двухсменный режим работы или доукомплектование экипажем двух-трёх судов за счёт расформирования экипажа одного судна. Существует интересная статистика, которая говорит, что средний возраст капитанов в Амурском бассейне составляет 52 года. Вместе с тем средний возраст судов также подходит к 40 годам. В связи со строительством и постоянной реконструкцией автомобильных дорог в районы Нижнего Амура новые транспортные суда в бассейне не строятся за очень редким исключением, а объёмы грузовых и пассажирских перевозок водным транспортом ежегодно снижаются.

Интересен и подход нашего государства к вопросам обеспечения безопасности судоходства навигационными системами, в частности системой ГЛОНАС. Подписан приказ Министерства транспорта РФ об оборудовании определённых категорий судов данными системами, назначены сроки установки комплектов оборудования, стоимость которого порой доходит чуть ли не до остаточной стоимости судов. Существует запрет на приёмку определённых типов судов в эксплуатацию в навигацию 2013 года без данного установленного оборудования, но вместе с этим имеется ряд вопросов, которые необходимо понять и в которых нужно разобраться.

Как показывает практика, устанавливаемое сегодня на суда внутреннего водного транспорта оборудование ГЛОНАС, никак не может помочь капитану судна в обеспечении безопасности плавания в сложной навигационной обстановке. В связи с отсутствием в Амурском бассейне электронных карт, как-либо отобразить судовой ход или навигационные опасности эти приборы не имеют никакой технической возможности. Главной задачей такого оборудования является мониторинг, то есть отображение положения того или иного судна компании на дисплее у диспетчера и проконтролировать его продвижение по линии маршрута. Конечно это дело очень нужное, но имея на борту судна такое дорогостоящее и многофункциональное оборудование хотелось бы качественно расширить его технические возможности, которые были бы очень востребованы судоводителями для обеспечения безопасности плавания судов компании. Так нужно ли такое оборудование на судах? Как практик скажу – от него имеется сегодня реальная польза, вот только не нужно останавливаться на достигнутом, в дальнейшем необходимо существенно расширять его функциональные возможности для обеспечения безопасности судоходства и реальной помощи капитану судна в его нелёгкой работе.

Так и работаем, проходит год за годом, стареют суда, стареют капитаны, радуются, когда провозглашаются новые государственные программы, например о возрождении российского флота на Дальнем Востоке и надеются, что их реализация пройдёт ещё в этой жизни.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подготовка кадров, водный транспорт
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Павленко Роман Иванович, старший преподаватель Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 680007, г.Хабаровск, пер.Ремесленный, 4, Хабаровский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

И.Ю. Сольская, П.И. Кузьмина

INCREASING THE COMPETITIVENESS OF THE INSTITUTION OF ADDITIONAL PROFESSIONAL EDUCATION

Irkutsk state transport university

I.Yu. Solskaya, P.I. Kuzmina

A large number of educational institutions have a commercial activity in the area of Additional Professional Education. Assessment and management of the economical potential of these institutions are one way to improve their competitiveness.

Keywords: educational services, institution of additional education, economical potential, institutional approach

Большое количество образовательных учреждений оказывают коммерческую деятельность в области дополнительного профессионального образования. Оценка и управление экономическим потенциалом данных учреждений является одним из способов повышения их конкурентоспособности.

В условиях жесткой конкуренции на рынке труда в России стал возрастать спрос на дополнительные образовательные услуги как на один из факторов повышения привлекательности работника со стороны работодателя, конкурентоспособности работников на рынке труда. Современные экономические условия, непрерывно совершенствующиеся технология и техника стимулируют работодателей уделять большее внимание квалификации своих работников. При этом работодателю и работнику необходимо выбрать организацию, отвечающую различным предъявляемым требованиям, из огромного числа структур, предлагающих услуги в области дополнительного профессионального образования (ДПО). Учреждения, оказывающие услуги в области ДПО, обладают различными характеристиками и функциональными особенностями, являющимися факторами, которые определяют уровень экономического потенциала организации.

Экономический потенциал отражает уровень развития хозяйственной системы в будущем, дает представление об имеющейся совокупности ресурсов живой природы, материальных и финансовых ресурсах, скрытых резервах, наличии квалифицированных кадров, устойчивого финансового положения. Отечественные и зарубежные авторы в своих работах на тему экономического потенциала выделяют следующие его составляющие: рыночный, финансовый, имущественный, управленческий, экологический и научно-технический потенциалы.

Образовательные учреждения осуществляют деятельность по оказанию услуг в области ДПО, которые включают повышение квалификации, профессиональную подготовку и переподготовку.

Российская система дополнительного профессионального образования продолжает видоизменяться и к настоящему времени представляет собой совокупность дополнительных образовательных программ, образовательных учреждений и иных организаций, основной целью которых является образовательная деятельность в области дополнительного профессионального образования. В настоящий момент система дополнительного профессионального образования в России состоит из учреждений различного уровня, представленных на рисунке.

Часть учреждений ДПО является полностью самостоятельными организациями, оказывающими коммерческие образовательные услуги, которые и являются единственным источником доходов таких организаций. Также на рынке образовательных услуг большое место занимают институты и факультеты дополнительного образования, которые являются частью более крупных образовательных учреждений (университетов, академий и пр.). Разница между этими учреждениями существует и заключается она не столько в самих оказываемых услугах, сколько в условиях, форме, методах и, самое главное, в качестве оказания данных услуг. Рассмотрим эти различия подробнее.

Для оценки сложившейся ситуации на рынке образовательных услуг будут рассмотрены коммерческие образовательные центры Иркутской области, осуществляющие свою деятельность независимо от других образовательных учреждений, и Институт дополнительного профессионального образования, являющемся структурным подразделением Иркутского го-

сударственного университета путей сообщения.

Для самостоятельных организаций характерно полное обеспечение своих нужд и потребностей, самостоятельный баланс. То есть, эти организации должны иметь собственную или арендованную материальную базу для оказания услуг в области ДПО (аудитории, оборудование, лаборатории, литература и пр.), штат сотрудников, занимающихся организацией обучения, ППС, непосредственно осуществляющий образовательную деятельность. Самостоятельным организациям не обойтись без услуг экономиста, бухгалтера, юриста, маркетолога и многих других специалистов, при отсутствии которых осуществлять деятельность станет крайне сложно.



Рисунок – Схема системы ДПО в России

Те учреждения, которые являются структурными подразделениями крупных образовательных учреждений, на практике сталкиваются с меньшим количеством трудностей при организации деятельности в области ДПО. Каждый университет в России оснащен аудиториями и лабораториями, во многих из них установлено современное оборудование, техника, необходимая для проведения семинаров и лабораторных занятий, для наглядной демонстрации лекционного материала. В штате каждого университета уже есть специалисты, необходимые для законного осуществления деятельности. Многие университеты могут гордиться штатными преподавателями с многолетним опытом работы по специальности и знанием своего дела, использующими эти знания и умения на практике и обладающими способностью передавать эти знания другим. При этом структурному подразделению ДПО для успешного функционирования требуются лишь грамотные организаторы и ответственные исполнители.

Еще одним камнем преткновения для организаций, осуществляющих свою деятельность в области ДПО, является обеспечение приезжих слушателей местом проживания; не всякое самостоятельное учреждение ДПО имеет возможность предоставить гостиницу. Тогда как любой университет имеет в своем комплексе различные общежития, часть из которых могут быть переоборудованы под общежития гостиничного типа. Это играет довольно большую роль при привлечении слушателей из других городов.

На основании рассмотренных факторов, которые влияют на величину и качество экономического потенциала указанных учреждений, составим таблицу сравнений самостоятельных образовательных учреждений и учреждения – структурного подразделения университета (таблица).

На основании таблицы можно сделать вывод о различной структуре затрат данных учреждений. Удельные затраты организаций, находящихся на самостоятельном балансе, выше. В число этих затрат входят затраты на аренду помещения, на содержание материального имущества, приобретение нематериальных ценностей, заработная плата работникам, за-

траты на оплату труда приглашенных преподавателей, затраты на рекламу. В то время, как большая часть затрат учреждения – СП университета падает не столько на само структурное подразделение, сколько на университет в целом.

Таблица – Факторы, влияющие на конкурентоспособность образовательных учреждений разных форм, оказывающих услуги в области ДПО

| Конкурентные факторы | Самостоятельные образовательные центры Иркутской области | Институт дополнительного профессионального образования ИРГУПС |
|---|---|--|
| Наличие помещений для проведения занятий | Арендованное или собственное | Помещения университета |
| Наличие квалифицированного ППС | Все преподаватели – приглашенные. Составляет огромный труд найти квалифицированного и опытного преподавателя | В штате университета огромное количество преподавателей, которые с удовольствием согласятся преподавать на курсах повышения квалификации |
| Наличие в штате необходимых специалистов для осуществления деятельности | Необходимо воспользоваться аутсорсингом или принимать необходимых специалистов в штат | Необходимые специалисты уже являются сотрудниками университета |
| Место проживания для слушателей | Зачастую отсутствует или низкого качества | Есть общежития |
| Наличие лабораторий | Скорее всего, отсутствуют | Для осуществления своей деятельности любой университет нуждается в лабораториях, оснащенных по последнему слову техники. Факультет (институт) может пользоваться ими совершенно бесплатно |
| Имидж, реклама | Небольшому учебному центру требуется гораздо больше денежных средств для того, чтобы к нему потянулись клиенты | Университет уже себя зарекомендовал. Соответственно факультету требуется меньше усилий и денег, чтобы о нем узнали клиенты. Зачастую ФПК профильных вузов (ж/д, экономические и пр.) тесно взаимодействуют с организациями своего профиля. Так что у таких факультетов повышения квалификации нет потребности в дополнительной рекламе |
| Дорогостоящее оборудование | У небольших учреждений отсутствует возможность приобретения дорогостоящей техники, необходимой для функционирования (множительные машины, проекторы, интерактивные доски, компьютеры) | Возможность приобретения имеется |
| Оперативность работы | В небольших учреждениях оперативность принятия решений выше | Так как ФПК – СП университета, оперативность принятия решений, приобретения оборудования снижается из-за длительной стадии согласования |

Выявив различия в учреждениях ДПО, следует обратить внимания на экономический потенциал этих учреждений. При прочих равных условиях экономические потенциалы рассматриваемых образовательных учреждений не могут быть равными. Экономический потенциал образовательного учреждения, являющегося структурным подразделением университета, будет выше, чем у самостоятельного образовательного учреждения ДПО.

Одним из возможных подходов к оценке экономического потенциала образовательного учреждения, оказывающего платные услуги в области ДПО, является институциональный подход.

Суть подхода заключается в том, чтобы не ограничиваться анализом экономических категорий и процессов в чистом виде, а включить в анализ институты, учитывать внеэкономические

ческие факторы [3]. В нашем случае институциональный подход будет использован для оценки экономического потенциала образовательного учреждения – структурного подразделения университета. Так как рассматриваемое учреждение является частью более крупного образовательного учреждения, то не имеет смысла рассматривать их отдельно друг от друга. Их общий рыночный, финансовый, имущественный, управленческий и научно-технический потенциал будет на более высоком уровне, чем соответствующие потенциалы самостоятельного образовательного учреждения, оказывающего услуги в области ДПО. При институциональном подходе к оценке экономического потенциала образовательного учреждения становится ясно, что организации обеспечено существование и успешное функционирование в том случае, когда она является звеном крупной системы. Это дает больше возможностей для совершенствования и развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волкова, Н.С. Анализ системы дополнительного профессионального образования России и его роль в современных условиях / Н.С. Волкова // Молодой ученый. -2012. -№5. -С. 412-415.
- 2 Сэмюэлс, У. Институциональная экономическая теория / У. Сэмюэлс // Панорама экономической мысли XX столетия / под ред. Д. Гринуэя, М. Блини, И. Стюарта. -СПб., 2002. -Т.1.
- 3 Тарушкин, А.Б. Институциональная экономика [Электронный ресурс] учеб. пособие / А.Б. Тарушкин. -Режим доступа: <http://www.iworld.ru/attachment.php?barcode=978546900156&at=exc&n=0>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: образовательные услуги, учреждение дополнительного образования, экономический потенциал, институциональный подход

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Сольская Ирина Юрьевна, докт. экон. наук, профессор, проректор ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
Кузьмина Полина Игоревна, заведующий лабораторией ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г.Иркутск, ул.Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный аэрокосмический университет им. акад. М.Ф. Решетнева»

С.В. Еремеева

FEATURES OF INNOVATION INTENSIVE ENTERPRISES

Siberian state aerospace university

S.V. Eremeeva

The concept of «innovation», identified and formulated specific characteristics of innovation intensive enterprises.

Keywords: innovative activity, high-tech enterprise

Рассмотрено понятие «инновационная деятельность», выявлены и сформулированы специфические особенности инновационной деятельности наукоемких предприятий.

Основой развития наукоемкого производства любого уровня сложности являются процессы, формирующие качественные и количественные изменения в системе производства и вызывающие существенные последствия, которые, в конечном счете, определяют место наукоемкого предприятия на конкурентном рынке.

До настоящего времени ни зарубежная, ни отечественная наука, несмотря на значительное многообразие попыток, не дали точного определения термина «инновационная деятельность», которое можно использовать в ходе практической и теоретической деятельности наукоемкого предприятия. В результате исследования различных точек зрения, можно сказать, что зачастую понятия объединяются одним и тем же термином, которые имеют существенные отличия по характеру деятельности, времени проведения работ, назначению и т.п. Сами по себе терминологические различия не могут повлиять на осуществление инновационных процессов. Однако при определении приоритетных направлений инновационной деятельности предприятия, распределении объемов финансирования и материально-технических ресурсов, данное обстоятельство может сыграть определяющую роль. Оно в некоторой степени может затормозить развитие наукоемкого предприятия, как экономической системы. В целом можно утверждать, что инновационной называется деятельность, ориентированная на создание и/или внедрение прогрессивных нововведений. Ее содержание тесно связано с научными исследованиями, и включает в себя разработку будущих ин-

новационных продуктов, а так же реализацию результатов уже законченных научных исследований и разработок, либо иных научно-технических достижений. Кроме того, инновационная деятельность может быть направлена на создание нового или усовершенствованного технологического процесса, используемого в практической деятельности, а также на новые или усовершенствованные решения в области организации производства и в социальной сфере, а также связанные с этим дополнительные научные исследования и разработки. В таком случае необходимо согласиться с мнением Варфоломеевой Ю.А. и Волынкиной М.В., которые утверждают, что ведущей характеристикой инновационной деятельности является то, что эта деятельность, так или иначе связана с созданием и (или) реализацией нового знания вне зависимости от сферы ее осуществления [1]. В научной экономической литературе встречаются различные трактовки понятия «инновационная деятельность». В зависимости от предмета и объекта исследования данную деятельность можно рассматривать как систему или как процесс. Одни специалисты обращают внимание на творческую составляющую инновационной деятельности, другие делают акцент на производственной составляющей, третьи ориентируются на вкусы и предпочтения потребителей. В контексте анализируемой проблемы С. Назаров утверждает, что всякий термин относителен и ограниченно применим, и лишь идя по пути синтеза гуманитарных, естественнонаучных и технических знаний, можно истинно понять реалии XXI века [2].

Главным источником и основной движущей силой инновационной деятельности выступает интеллектуальная, творческая активность людей. В таком контексте заслуживает внимания мнение Б. Санто, который ассоциирует инновационную деятельность с интеллектуальной [3]. Вместе с тем, необходимо учитывать, что содержание термина «инновационная деятельность» значительно уже содержания термина «интеллектуальная деятельность». Интеллектуальная деятельность включает в себя любые проявления умственного труда человека, в том числе и того, который направлен на выполнение стандартных производственных операций.

Возвращаясь к предмету исследования, необходимо отметить, что применимо к наукоемким предприятиям наиболее подходит определение, указанное в Законе «Об инновационной деятельности», в котором инновационная деятельность рассматривается как совокупность научных, технологических, организационных и коммерческих мероприятий, направленных на разработку и освоение конкурентной наукоемкой продукции. Сосредоточение в рамках наукоемкого предприятия знаний и научного потенциала позволяет сократить путь от появления идеи до реализации ее в конкретном продукте. Научные разработки сразу используются в производстве. При этом покупатель, приобретая наукоемкие товары, сам оплачивает знания, воплощенные в товаре. Такой механизм позволяет компании наращивать свой потенциал.

Наукоемкие предприятия принадлежат не к традиционной экономике, а к экономике, построенной на знаниях. Организация инновационной деятельности наукоемкого предприятия призвана решать все вопросы и проблемы создания продукции начиная от научного исследования и опытно-конструкторской работы и до серийного производства. Важно понимать, что все проводимые исследования, разработки и производство должны быть направлены на достижение конкретного экономического результата. Наукоемкое предприятие отличается от традиционного тем, что реализуется большой объем НИОКР, которые выполняются КБ, НИИ, подразделениями самого предприятия и т.д. По данной причине значительная часть производственных мощностей загружена выполнением экспериментальных образцов, а также их доводкой во время производства по причине модификаций и изменений. В данной связи необходимо установление прочных связей между участниками производственного процесса создания продукции, что приводит к организации научно-производственного комплекса. Необходимо учитывать, что процесс изменения технологии доминирует над производством, в результате постоянная необходимость в обновлении основных производственных фондов и развитии опытно-экспериментальной базы. Жизненный цикл техники может достигать больших периодов (20 лет и более), что усложняет организацию управления производством. Происходит постоянное обновление объектов исследования, технологии, разработок, производства, конструктивных решений, информационных потоков и т.п. Необходимо минимизировать отрицательное воздействие процесса освоения новых технологий. Это обстоятельство требует учета организационно-экономических факторов в организации и управлении процессами, способствующими ускорению развития высокотехнологичных и наукоемких технологий. Ключевое значение при этом имеет подготовка специалистов, вла-

деющих интегрированными знаниями в области приоритетных технологий и организации промышленного производства. По этой причине большая доля высококвалифицированных инженерно-технических работников, ученых в общей численности производственно-промышленного персонала организации. Периодически изменяются количественные и качественные показатели оценки эффективности производства. Идет постоянный процесс совершенствования научно-производственной структуры. В связи с динамичностью выпуска продукции во времени, усложнена задача равномерной загрузки и использования потенциала предприятия. По причине сложности наукоемкой продукции, а также специализации организации, необходима разветвленная внутриотраслевая и межотраслевая кооперация.

С учетом вышеприведенных отличий наукоемкого производства, можно сформулировать особенности в инновационной деятельности наукоемкого предприятия:

1 В процессе разработки и изготовления наукоемкой продукции происходит объединение различных сфер человеческой деятельности: научной и производственной. В результате этого в наукоемком производстве присутствует движение вещественные факторов производства и движение знаний и информации.

2 Высокое качество трудовых ресурсов. Поскольку человек выступает активным организующим элементом, то для наукоемкого предприятия характерен высокий уровень индивидуального трудового потенциала участников инновационного процесса.

3 Приоритетность и последовательность. В производственной деятельности необходимо выделять конструктивные приоритеты и соблюдать цепочку: планирование-исследование-конструирование-технологическая подготовка-испытание-производство.

Поскольку наукоемкое производство выступает системным интегратором ряда этапов жизненного цикла разработки изделия (технологическая подготовка-испытание-серийное производство) [4], то появляется необходимость организационной интеграции сфер производства и НИОКР. В результате этого подразделения предприятия, которые выполняют функции НИОКР и обладают высоким уровнем самостоятельности, должны подчинять свою деятельность цели развития производственной системы, а также осуществлять свою деятельность в тесной взаимосвязи с производственными подразделениями предприятия;

4 Гибкость производственных процессов. Высокий уровень самостоятельности подразделений предприятия, делегирование полномочий и права принятия решений, эффективная обратная связь рабочего персонала с руководством.

Инновационная деятельность наукоемкого предприятия должна обеспечивать организационные условия для повышения гибкости производственного процесса и повышения реакции на колебания внешней конъюнктуры за счет сокращения периода подготовки производства, снижения уровня внутрипроизводственных запасов, сокращения линий производственных коммуникаций, ускорения процесса принятия решений, рационального использования ресурсов.

5 Высокий организационно-технологический уровень при производстве наукоемкой продукции.

Специфика выпускаемой продукции подразумевает не только использование квалифицированной рабочей силы, но также и использование современного оборудования и современных технологий изготовления продукции. В результате этого высокий организационно-технологический уровень производственного процесса в наукоемком производстве предполагает:

– преимущественное использование технологий, определяющих в настоящий момент направление научно-технического прогресса;

– большую долю использования опытного и экспериментального оборудования в производстве;

– использование в производственном процессе новые виды сырья и материалов, источников информации и энергии;

– согласование информационных, материальных и финансовых потоков на основе использования автоматизированных систем управления для обеспечения эффективности производства;

– качественное изменение существующих форм организации труда.

Организационно-технический уровень неуклонно повышается, что проявляется в постоянном обновлении входящих элементов (технологических и трудовых процессов), а также в постоянной смене объектов материально технической, в том числе опытно-конструкторской, базы производства.

6 Эффективность и результативность. Процесс инновационной деятельности наукоемкого предприятия направлен на конкретный экономический и финансовый результат.

7 Высокая неопределенность выполнения научных и производственных процессов и их конечного результата с заданными или ожидаемыми характеристиками, что ведет к необходимости принятия инновационных решения в условиях риска.

Таким образом, используя особенности инновационной деятельности наукоемкого предприятия, менеджмент организации может определить наиболее важные для себя области и направления освоения инноваций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Волынкина, М.В. Правовое регулирование инновационной деятельности: проблемы теории / М.В. Волынкина. -М.: Аспект Пресс, 2007. -274 с.
- 2 Варфоломеева, Ю.А. Интеллектуальная собственность в условиях инновационного развития: монография / Ю.А. Варфоломеева. -М.: Ось-89, 2006. -142 с.
- 3 Назаров, С. Изобретение: сегодняшняя попытка определения / С. Назаров // Инновации. -2006.-№6. -С. 13-16.
- 4 Санто, Б. Инновация и глобальный интеллектуализм / Б. Санто // Инновации. -2006. -№9. -С. 32-44.
- 5 Щербаков, Д.В. Концепция управления наукоемким производством / Д.В. Щербаков // Организатор пр-ва. -2010. -№1. -С. 78-85.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *инновационная деятельность, наукоемкие предприятия*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Еремеева Светлана Витальевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СибГАУ им. акад. М.Ф.Решетнева»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *660014, г.Красноярск, пр.им.газеты Красноярский рабочий, 31, ФГБОУ ВПО «СибГАУ им. акад. М.Ф. Решетнева»*

НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ДАЛЬНОГО СЛЕДОВАНИЯ И ПУТИ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Ю.М. Буинцева, С.Н. Артыкова

IRREGULARITY OF LONG-DISTANCE TRAINS PASSENGER TRAFFIC AND WAYS OF ITS OVERCOMING

Siberian state transport university

Ju.M. Buintseva, S.N. Artykova

Long-distance trains passenger traffic is characterized by a high rate of irregularity which depends on a year season. The analysis of such irregularity is based on the example of a Public Corporation "ФПК" where the dominant part of a total amount of passenger traffic is accomplished with the help of railway transport.

Keywords: irregularity of passenger traffic, season index, tariff

Пассажирские перевозки дальнего следования характеризуются высокой степенью неравномерности по времени. Анализ неравномерности выполнен в отношении ОАО «ФПК», выполняющего доминирующую долю объема пассажирских перевозок железнодорожным транспортом.

Многие общественные явления (экономические, политические, социальные) испытывают на себе периодические колебания, вызванные наличием определенной цикличности как в природном устройстве мира, так и в человеческой деятельности. Не являются исключением и пассажирские перевозки, как правило, они неравномерны.

Различают неравномерность пассажирских перевозок по времени и пространству. Ярко выраженный и устойчивый характер во всех видах сообщений имеет неравномерность во времени: по сезонам, месяцам, дням месяца и времени суток. Неравномерность пассажирских перевозок по времени характеризуется коэффициентом неравномерности $K_{нер}$. Существует несколько подходов к определению коэффициента неравномерности [1], расчет которых ведется на основе количества отправленных пассажиров $\sum A$.

На рынке пассажирских перевозок дальнего следования во внутригосударственном сообщении доля открытого акционерного общества «Федеральная пассажирская компания» составляет 95% [2]. Поэтому проблема неравномерности пассажирских перевозок рассматривается в отношении ОАО «ФПК».

Показатели неравномерности пассажирских перевозок, выполняемых ОАО «ФПК» в 2011 году приведены в таблице 1. Наибольшие размеры перевозок в дальнем следовании выполняются Компанией в июле-августе. В месяц максимального объема дальние перевоз-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ки пассажиров более чем в 2 раза превышают их минимальные размеры декабря-февраля.

Коэффициент неравномерности, рассчитанный вторым способом, иначе называют индексом сезонности.

Таблица 1 – Показатели неравномерности пассажирских перевозок дальнего следования за 2011 год

| Период года | Количество отправленных пассажиров, млн. человек | Удельный вес, % | Коэффициенты неравномерности | | |
|-------------|--|-----------------|---|---|--|
| | | | Первый подход $\frac{\sum A_{мес}^{max}}{\sum A_{мес}^{сред}}$ | Второй подход $\frac{\sum A_i}{\sum A_{мес}^{сред}}$ | Третий подход $\frac{\sum A_{мес}^{max}}{\sum A_{мес}^{min}}$ |
| Январь | 7,7 | 6,8 | 1,49 | 0,82 | 2,26 |
| Февраль | 6,2 | 5,5 | | 0,66 | |
| Март | 6,4 | 5,7 | | 0,68 | |
| Апрель | 6,4 | 5,7 | | 0,68 | |
| Май | 6,9 | 6,1 | | 0,74 | |
| Июнь | 11,5 | 10,3 | | 1,23 | |
| Июль | 13,7 | 12,2 | | 1,46 | |
| Август | 14,0 | 12,4 | | 1,49 | |
| Сентябрь | 13,0 | 11,6 | | 1,39 | |
| Октябрь | 10,5 | 9,3 | | 1,12 | |
| Ноябрь | 8,7 | 7,7 | | 0,93 | |
| Декабрь | 7,5 | 6,7 | | 0,80 | |
| Итого | 112,5 | 100,00 | – | – | – |

На рисунке 1 представлена динамика индекса сезонности, рассчитанного за 2011 год.

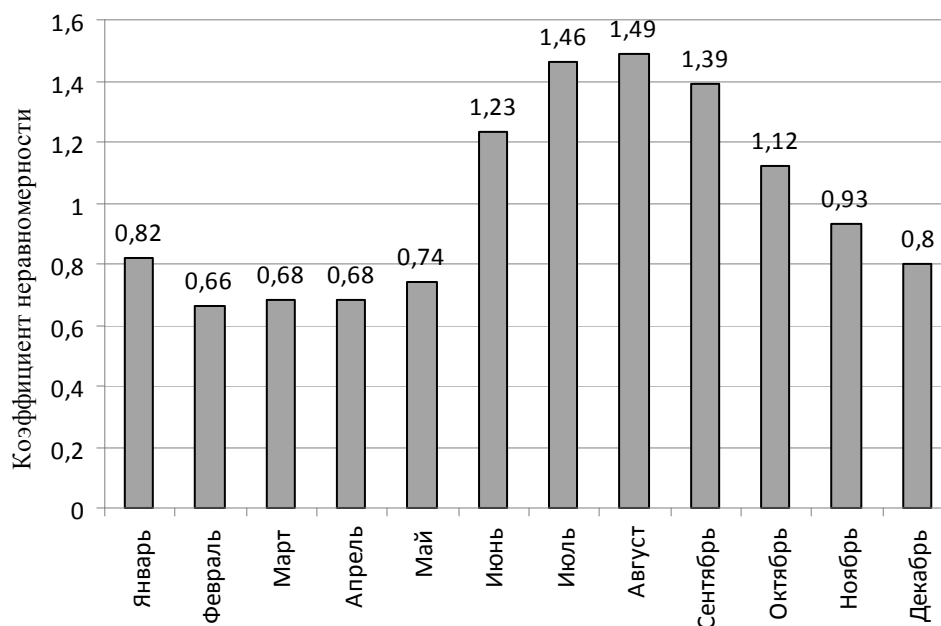


Рисунок 1 – Динамика индекса сезонности в 2011 году

Минимальный объем перевозок осуществляется в феврале (5,5% годового объема в 2011 г.), что определяет низкое значение коэффициента неравномерности – 0,66; максимальный объем перевозок — в августе (12,4% годового объема пассажиропотока ОАО «ФПК»), таким образом, значение коэффициента неравномерности достигает – 1,49.

Пиковый спрос на пассажирские перевозки наблюдается в период общегосударственных праздников и в преддверии выходных дней (пятница), во время проведения крупных спортивных мероприятий международного уровня, событий в регионах. Чем выше неравномерность пассажирских перевозок во времени, тем большие резервы всех ресурсов (трудовых, материальных, финансовых) должно иметь ОАО «ФПК» для нормального функционирования.

Это вызывает необходимость систематического поиска наиболее эффективных путей смягчения неравномерности и разработки мероприятий по уменьшению ущерба от большого отклонения от средних величин объемов перевозок в определенные периоды года или суток на конкретных направлениях и участках.

Сглаживание неравномерности перевозок – одна из важнейших задач железнодорожного транспорта. Одним из действенных способов решения этой задачи является гибкое тарифное регулирование пассажирских перевозок.

Приказом Федеральной службы по тарифам [3] установлены дифференцированные по календарным периодам 2013 года индексы к уровню тарифов на перевозки пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования во внутригосударственном сообщении в составе дальних поездов ОАО «ФПК».

Дифференцированные по календарным периодам 2013 года индексы изменения тарифов на перевозки пассажиров в дальнем следовании представлены в таблице 2 в дерегулируемом сегменте (купейных вагонах и вагонах СВ), и в таблице 3 – в регулируемом сегменте (плацкартных и общих вагонов).

Таблица 2 – Сезонные коэффициенты на перевозки пассажиров в дальнем следовании в купейных вагонах и вагонах СВ поездов ОАО «ФПК», следующих во внутригосударственном сообщении на 2013 г.

| Период индексации тарифов | Количество дней | Коэффициент индексации | Темп изменения к базисному значению, % |
|---------------------------|-----------------|------------------------|--|
| 01.01-31.01 | 31 | 1,00 | – |
| 01.02-21.02 | 21 | 0,80 | -20 |
| 22.02-25.02 | 4 | 1,10 | +10 |
| 26.02-06.03 | 9 | 0,80 | -20 |
| 07.03-10.03 | 4 | 1,10 | +10 |
| 11.03-25.04 | 46 | 0,80 | -20 |
| 26.04-05.05 | 10 | 1,10 | +10 |
| 06.05-08.05 | 31 | 1,00 | – |
| 09.05 | 1 | 0,50 | -50 |
| 10.05-07.06 | 29 | 1,00 | – |
| 08.06-12.06 | 5 | 1,15 | +15 |
| 13.06-28.06 | 16 | 1,10 | +10 |
| 29.06-12.07 | 14 | 1,15 | +15 |
| 13.07-02.09 | 52 | 1,20 | +20 |
| 03.09-30.09 | 28 | 1,00 | – |
| 01.10-31.10 | 31 | 0,90 | -10 |
| 01.11-04.11 | 4 | 1,00 | – |
| 05.11-20.12 | 46 | 0,80 | -20 |
| 21.12-26.12 | 6 | 1,10 | +10 |
| 27.12-28.12 | 2 | 1,15 | +15 |
| 29.12-30.12 | 2 | 1,20 | +20 |
| 31.12 | 1 | 1,00 | – |

Самый низкий коэффициент индексации в дерегулируемом сегменте установлен в государственный праздник 9 мая – 0,50. Кроме того, значительно снижен коэффициент индексации – на 20% четыре раза в году (2 февраля-21 февраля, 26 февраля-6 марта, 11 марта-25 апреля, 5 ноября-20 декабря), а именно – весенний период 76 дней и осенний период 46 дней, что в совокупности составляет 122 дня.

Максимальное увеличение коэффициента индексации на 20% в дерегулируемом сегменте приходится на два периода: 13 июля-2 сентября (52 дня), 29 декабря-30 декабря (2 дня), что в совокупности составляет 54 дня.

Самый низкий коэффициент индексации в регулируемом сегменте – 0,50 приурочен к государственному празднику 9 мая, однако в отличие от проезда в вагонах купейных и СВ такой коэффициент установлен не на 1 день, а на 2 дня. Кроме того, значительно снижен коэффициент индексации – на 25% – два раза в году (15 февраля-6 марта, 11 марта-27 апреля), то есть весенний период продолжительностью 68 дней. Максимальное увеличение коэффициента индексации на 20% – в регулируемом сегменте приходится на три периода: 8 июня-12 июня (5 дней), 13 июля-2 сентября (52 дня), 29 декабря-30 декабря (2 дня),

всего 59 дней.

Таблица 3 – Сезонные коэффициенты на перевозки пассажиров в дальнем следовании в плацкартных и общих вагонах поездов ОАО «ФПК», следующих во внутригосударственном сообщении на 2013 г.

| Период индексации тарифов | Количество дней | Коэффициент индексации | Темп изменения к базисному значению, % |
|---------------------------|-----------------|------------------------|--|
| 01.01-14.02 | 45 | 0,83 | -17 |
| 15.02-06.03 | 20 | 0,75 | -25 |
| 07.03-10.03 | 4 | 1,10 | +10 |
| 11.03-27.04 | 48 | 0,75 | -25 |
| 28.04-29.04 | 2 | 1,10 | +10 |
| 30.04-07.05 | 8 | 1,05 | +5 |
| 08.05-09.05 | 2 | 0,50 | -50 |
| 10.05-07.06 | 29 | 1,05 | +5 |
| 08.06-12.06 | 5 | 1,20 | +20 |
| 13.06-28.06 | 16 | 1,10 | +10 |
| 29.06-12.07 | 14 | 1,15 | +15 |
| 13.07-02.09 | 52 | 1,20 | +20 |
| 03.09-30.09 | 28 | 1,10 | +10 |
| 01.10-31.10 | 31 | 0,90 | -10 |
| 01.11-04.11 | 4 | 1,10 | +10 |
| 05.11-20.12 | 46 | 0,90 | -10 |
| 21.12-26.12 | 6 | 1,10 | +10 |
| 27.12-28.12 | 2 | 1,15 | +15 |
| 29.12-30.12 | 2 | 1,20 | +20 |
| 31.12 | 1 | 1 | - |

На рисунке 2 приведены сезонные коэффициенты изменения тарифов на пассажирские перевозки в поездах дальнего следования ОАО «ФПК», установленные для регулируемого и дерегулируемого сегмента по календарным периодам 2013 г.

Наглядно видно, что после 9 мая коэффициент изменения тарифов на перевозку пассажиров в плацкартных и общих вагонах (регулируемый сегмент) неоднократно превышает значение коэффициента изменения тарифов на перевозку пассажиров в купейных вагонах и вагонах СВ (дерегулируемый сегмент), либо коэффициенты находятся на одном уровне.

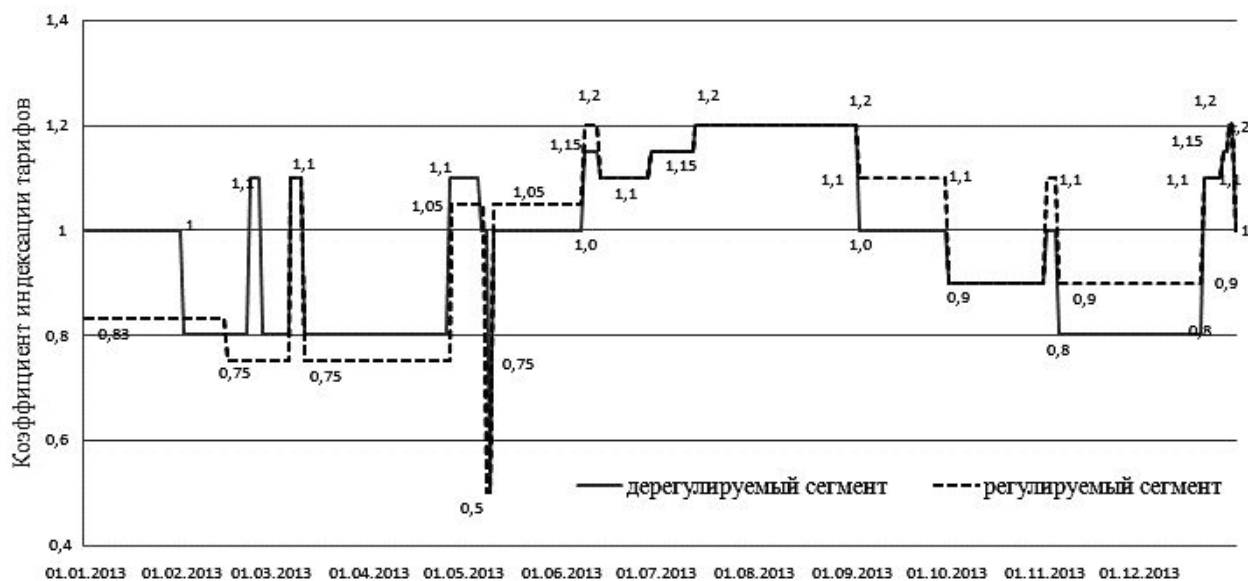


Рисунок 2 – Сезонные коэффициенты изменения тарифов на пассажирские перевозки в вагонах ОАО «ФПК» за 2013 г.

Приведенные дифференцированные по календарным периодам 2013 года индексы изменения тарифов на перевозки пассажиров в дальнем следовании в купейных вагонах и вагонах СВ в таблице 2, не распространяются на поезда, в которых действуют новые правила

расчета цен – «Динамическое ценообразование».

«Динамическое ценообразование» заключается в постепенном увеличении цены на билеты в зависимости от спроса на маршруте, сезона, дня недели, цен конкурентов. Чем раньше приобретается билет – тем меньше цена. Новые правила расчета цен действуют при формировании стоимости поезда в вагонах купе, СВ и «Люкс» 46 поездов дальнего следования с датой отправления с 1 марта 2013 г. на следующих маршрутах: Москва-Санкт-Петербург-Москва, Москва-Нижний Новгород-Москва, Москва-Воронеж-Москва, Москва-Смоленск-Москва, Санкт-Петербург-Воронеж-Санкт-Петербург и Санкт-Петербург-Нижний Новгород-Санкт-Петербург.

В рамках системы динамического ценообразования стоимость билетов в вагоны купе, СВ и «Люкс» будет изменяться в зависимости от сезона, дней недели, спроса и количества проданных мест. В первые дни продажи (которая начинается за 45 суток до отправления поезда) стоимость проездного документа будет минимальной (за исключением высоких сезонов и праздничных дат).

По мере заполнения поезда в случае высокого спроса на перевозки тариф будет увеличиваться. Однако, в случае низкого спроса, а также при наличии в свободной продаже на рынке более низких тарифов конкурентов, продажа по низким тарифам будет продолжаться вплоть до даты отправления поезда. Подобный подход к ценообразованию, в целом аналогичен технологии, применяемой сейчас авиаперевозчиками.

Применяя новую систему, компания рассчитывает сократить ценовой разрыв между разными категориями вагонов. Например, при приобретении проездного документа за 45 суток, самый дешевый билет на верхнюю полку в купейный вагон будет лишь на 15-20% дороже места в плацкартном вагоне. Минимальная стоимость тарифа в СВ будет также снижена для сокращения ценового разрыва с тарифами купейном вагоне. При этом сегодня разница в тарифах между вагонами СВ и купе может достигать двукратного размера. На втором этапе реализации проекта, система будет внедрена еще в 64 поездах отправлением с 1 июля 2013 года, на следующих направлениях: Москва-Архангельск, Москва-Волгоград, Москва-Екатеринбург, Москва-Казань, Москва-Мурманск, Москва-Ростов, Москва-Самара, Москва-Сочи, Москва-Чебоксары, Москва-Кисловодск.

Приказом Федеральной службы по тарифам от 4 декабря 2012 г. №346-т/3, установлены тарифы на перевозки железнодорожным транспортом в 2013 году. В данном документе заложена возможность 20% роста стоимости билетов. Но в этом документе содержится еще один важный момент – Федеральная служба по тарифам применяет гибкую тарифную сетку на проезд в регулируемом и субсидируемом государством секторе пассажирских железнодорожных перевозок. Такая формулировка в приказе ФСТ позволила первые пять месяцев 2013 года не повышать стоимость билетов на все допустимые 20%, а поднять стоимость билетов на 15%. На такой шаг пошли еще и потому, что в апреле 2013 года Правительство намерено вернуться к вопросу увеличения субсидий на железнодорожные перевозки дальнего следования. Не исключено, что если будут выделены дополнительные средства из бюджета, то, возможно, увеличения стоимости на проезд в плацкартных и общих вагонах до 20% не произойдет и в последующие месяцы 2013 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экономика пассажирского транспорта: учеб. пособие / под общ. ред. В.А. Персианова. -М.: КНОРУС, 2012. -400 с.
- 2 Годовой отчет ОАО «ФПК» за 2011 г. [Электронный ресурс]. - Режим доступа: http://rzd.ru/enterprise/public/rzd?STRUCTURE_ID=5010&layer_id=5040&refererLayerId=5039&id=3264.
- 3 Об индексации ставок тарифов, сборов и платы на работы (услуги), выполняемые (оказываемые) ОАО «Российские железные дороги», ОАО «Федеральная пассажирская компания», ОАО «Пассажирская компания «Сахалин», ОАО «АК «Железные дороги Якутии», утвержденных приказом ФСТ России от 27 июля 2010 года №156-т/1, и установлении дифференцированных по календарным периодам 2013 года индексов к уровню тарифов на перевозки пассажиров железнодорожным транспортом общего пользования во внутригосударственном сообщении в составе дальних поездов ОАО «Федеральная пассажирская компания»: приказ ФСТ России от 04 дек. 2012 г. №346-т/3 // Рос. газ. -2012. -28 дек.(301).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тариф, неравномерность пассажирских перевозок, индекс сезонности*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Буинцева Юлия Михайловна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Артыкова Светлана Николаевна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

Ю.Ю. Почесуева

SIMULATION OF THE PRODUCTION PROCESS USING THE APPARATUS OF HYBRID INTELLECTUAL SYSTEMS

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

Ju.Yu. Pochesueva

The example of simulation model constructing with adaptive neural fuzzy logic system for the solution of ill-formalized problems is presented and the results of testing two versions of the model.

Keywords: hybrid intellectual systems, ill-formalized (ill-defined) problems, fuzzy logic system

Представлен пример построения имитационной модели с использованием адаптивной системы нейронечеткого вывода для решения плохо формализованной задачи, а также результаты тестирования модели двумя вариантами.

В любом технологическом процессе, как правило, контролируется несколько различных параметров. Для контроля управляемости процесса в классическом подходе применяется контроль выхода за границы допуска и критерий серий. Однако такой подход основан на использовании эмпирических критериев вне зависимости от процесса. Необходимое построенное чувствительных к особенностям конкретного процесса моделей в режиме, близком к реальному времени, приводит к нейросетевым моделям производственного процесса, построенных с помощью аппарата гибридных интеллектуальных систем (ГИС). ГИС позволяют более эффективно соединять формализуемые и неформализуемые знания, сочетая в себе достоинства нейронных сетей и систем нечеткого вывода. С одной стороны, они позволяют разрабатывать и представлять модели систем в форме правил нечетких продукций, которые обладают наглядностью и простотой содержательной интерпретации. С другой стороны, для построения правил нечетких продукций используются методы нейронных сетей, что является более удобным и менее трудоемким процессом для системных аналитиков [1].

ГИС дают возможность использовать преимущества традиционных средств искусственного интеллекта, преодолевая некоторые их недостатки, и позволяют решать задачи, проблематичные для других методов искусственного интеллекта.

Для примера в качестве модели гибридной сети рассмотрим учебный процесс в ВУЗе. Попробуем выявить наиболее важные параметры, проанализируем работу сети при ограничении количества критериев.

Суть данного процесса состоит в том, что сначала происходит непосредственное обучение сети на обучающем множестве, то есть изменение весовых коэффициентов каждого из нейронов пропорционально ошибке на выходе. Соответственно все наблюдения из этого множества многократно участвуют в процедуре изменения весовых коэффициентов обучаемой сети. На следующем шаге происходит проверка работы системы с помощью контрольного множества, которое в процедуре изменения весов нейронов не участвует. Основная функция этих данных в постоянном контроле способности сети к обобщению данных, на которых она не обучалась. Такая процедура называется кросс – проверкой [2]. На каждом шаге алгоритма обучения рассчитывается ошибка для всего набора наблюдений из контрольного множества и сравнивается с ошибкой на обучающем множестве. Естественно, что эти ошибки будут отличаться. Как правило, ошибка на контрольном множестве превышает ошибку на обучающем множестве. Однако, важен не сам факт отличия, а наблюдаемая тенденция ошибок.

Алгоритм обучения сети нацелен на минимизацию ошибки на выходе сети. Соответственно, ошибка на обучающем множестве просто обязана в среднем уменьшаться. Но никто не обещает спада ошибки на проверочном множестве. Итак, если наблюдается картина роста ошибки на контрольном множестве, в то время как она уменьшается на обучающем множестве, то этого говорит о том, что сеть «зазубрила» все предъявленные ей наблюдения и не способна к обобщению [3]. Такое состояние называется переобучением и его желательно избегать.

Тестовое множество не участвует в обучении вообще. Оно используется после завер-

шения обучения для расчета производительности полученной сети и её ошибки на данных, о которых «ей вообще ничего неизвестно». Хорошей сетью можно считать ту сеть, у которой ошибка одинаково мала на всех подмножествах.

Вернемся к процессу обучения в ВУЗе. Отметим, что при моделировании системы, использовались данные из обучающей выборки. На этапе тестирования системой обрабатывался набор заранее известных исходных данных и реальные оценки курсанта, взятые из журнала успеваемости. Набор тестируемых данных содержится слева в нижеприведенной таблице. В правой части таблицы содержатся результаты проверки нейросетевой модели.

Таблица – Фрагмент тестирующей выборки нейросетевой модели

| базовые знания (средний начальный балл) | научная жизнь курсанта (от 0 до 10) | общественная жизнь курсанта (от 0 до 10) | квалификация преподавателя (ассистент-от2 до3, ст. преподаватель-от4 до6, доцент-от7 до8, профессор-от9 до10) | возраст преподавателя (до 25 - от1 до3, от 26 до 35 - от3 до6, от 36 до 55 - от6 до10, старше 56 - от11 до12) | обеспечение литературой | обеспечение оборудованием | Оценка по предмету за семестр | Проверка работы системы (средний балл, научная жизнь, квалификация преподавателя) / полученные данные | | | | |
|--|-------------------------------------|--|---|---|-------------------------|---------------------------|-------------------------------|---|--|---------------------------------------|--|--|
| | | | | | | | | средний начальный балл (практический) | Оценка по предмету за семестр (практическая) | средний начальный балл (практический) | Оценка по предмету за семестр (практическая) | |
| дайте оценку критериев по десятибалльной шкале | | | | | | | | | | | | |
| <i>Шатохин АВ</i> | | | | | | | | | | | | |
| 3.9 | 10 | 7 | 8 | 9 | 8 | 6 | 6 | 3.9 | 4.93 | 3.9 | 4.96 | |
| 3.9 | 8 | 7 | 10 | 7 | 6 | 8 | 6 | 3.9 | 4.69 | 3.9 | 4.77 | |
| 3.9 | 7 | 7 | 7 | 7 | 7 | 6 | 4 | 3.9 | 3.77 | 3.9 | 4.2 | |
| 3.9 | 9 | 7 | 9 | 7 | 7 | 6 | 6 | 3.9 | 4.79 | 3.9 | 4.78 | |
| 3.9 | 10 | 7 | 8 | 6 | 8 | 6 | 6 | 3.9 | 4.93 | 3.9 | 4.64 | |
| 4.8 | 6 | 8 | 5 | 8 | 8 | 5 | 4 | 4.6 | 4.03 | 4.67 | 3.9 | |
| 4.8 | 6 | 8 | 9 | 9 | 9 | 6 | 4 | 4.6 | 3.92 | 4.67 | 4.14 | |
| 4.8 | 7 | 8 | 7 | 6 | 8 | 8 | 4 | 4.6 | 4.33 | 4.67 | 4.22 | |
| 4.8 | 2 | 8 | 10 | 5 | 4 | 8 | 3 | 4.6 | 2.61 | 4.67 | 3.34 | |
| 4.8 | 10 | 8 | 6 | 5 | 9 | 9 | 6 | 4.6 | 4.99 | 4.67 | 5.14 | |
| 4.8 | 6 | 8 | 10 | 7 | 7 | 9 | 4 | 4.6 | 3.76 | 4.67 | 4.41 | |
| 4.8 | 9 | 8 | 7 | 5 | 8 | 7 | 6 | 4.6 | 4.7 | 4.67 | 4.97 | |
| 4.8 | 6 | 8 | 7 | 6 | 8 | 6 | 4 | 4.6 | 4.47 | 4.67 | 3.94 | |
| 4.57 | 8 | 7 | 8 | 5 | 7 | 7 | 3 | 4.63 | 3.46 | 4.66 | 2.52 | |
| 4.57 | 8 | 7 | 5 | 6 | 9 | 9 | 4 | 4.63 | 3.97 | 4.66 | 4.15 | |
| 4.57 | 7 | 7 | 6 | 6 | 6 | 6 | 4 | 4.63 | 4.02 | 4.66 | 4.2 | |
| 4.57 | 6 | 7 | 9 | 3 | 5 | 6 | 4 | 4.63 | 4.33 | 4.66 | 4.46 | |
| 4.57 | 2 | 7 | 7 | 8 | 8 | 9 | 3 | 4.63 | 3.42 | 4.66 | 2.91 | |
| 4.57 | 6 | 7 | 5 | 6 | 8 | 7 | 4 | 4.63 | 4.04 | 4.66 | 3.55 | |
| 3.71 | 7 | 6 | 9 | 6 | 8 | 6 | 4 | 3.87 | 4.01 | 3.63 | 4.1 | |
| 3.71 | 8 | 6 | 6 | 7 | 8 | 9 | 4 | 3.87 | 4.2 | 3.63 | 4.08 | |
| 3.71 | 8 | 6 | 7 | 3 | 8 | 9 | 4 | 3.87 | 4.18 | 3.63 | 3.52 | |
| 3.71 | 7 | 6 | 6 | 5 | 7 | 9 | 4 | 3.87 | 3.73 | 3.63 | 4.24 | |
| 3.71 | 8 | 6 | 5 | 7 | 8 | 10 | 4 | 3.87 | 4.07 | 3.63 | 4.43 | |
| 4 | 6 | 6 | 7 | 7 | 8 | 9 | 3 | 4.04 | 3.22 | 4.08 | 3.61 | |
| 4 | 2 | 6 | 10 | 7 | 9 | 7 | 3 | 4.04 | 2.95 | 4.08 | 3.1 | |
| 4 | 8 | 6 | 7 | 4 | 8 | 4 | 4 | 4.04 | 4.26 | 4.08 | 3.8 | |
| всего обучения курсанта (по данным из журнала успеваемости) | | | | | | | | 3.333 | | | | |
| | | | | | | | | полученный на практике | 3.477 | полученный на практике | 3.47 | |

Сравнивая полученные системой оценки с соответствующими оценками тестируемого курсанта от курса к курсу, можно констатировать практически точное совпадение этих значений и при округлении до целой части – абсолютное совпадение (в реальности преподаватель выставляет округленные оценки успеваемости).

Полученная средняя квадратическая погрешность, равная 0,24 и показывает, что созданная модель достаточно точно описывает реальные процессы, происходящие в системе.

Из таблицы видим, что тестирование было поделено на два этапа. На первом этапе взяли усеченный набор входных критериев (всего три критерия). Ошибка (средняя квадратическая погрешность) равняется 0,24. На втором этапе набор критериев был увеличен в два раза (всего шесть критериев). Теперь ошибка составляет 0,21.

Сравним средний балл на обоих этапах. При использовании наибольшего количества критериев средний балл равен 3,47 и наиболее приближен к реальному 3,333, чем при использовании наименьшего количества критериев. Однако заметно, что результат подтверждает действительность, даже при удалении нескольких из коэффициентов.

Следует сказать, что нет какого-то одного коэффициента, который бы был для компании самым важным, ведь лишь только анализируя всю группу коэффициентов, мы можем сделать определенный вывод.

Кроме того, как было выяснено в ходе проделанной работы, что даже при удалении одного из ключевых входных параметров, все равно будет достигнут верный результат, что объясняется свойством перцептрона, его способности к обучению и агрегированию инфор-

мации.

В последние годы традиционные методы искусственного интеллекта, такие как экспертные системы, нечеткие системы, искусственные нейронные сети, генетические алгоритмы и т.п. все чаще объединяются в гибридные интеллектуальные системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лисс, А.А. Нейронные сети и нейрокомпьютеры: учеб. пособие / А.А. Лисс, М.В. Степанов. -СПб.: ГЭТУ, 1997. -64 с.
- 2 Штовба, С.Д. Проектирование нечетких систем средствами MATLAB / С.Д. Штовба. -М.: Горячая линия-Телеком, 2007. - 288 с.
- 3 Горбань, А.Н. Обучение нейронных сетей / А.Н. Горбань. -М.: ParaGraph, 1990. -160 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *гибридные интеллектуальные системы, плохо формализуемые задачи, системы нечеткого вывода*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Почесуева Юлия Юрьевна, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕЧНЫХ ПОРТОВ

ФАУ «Российский Речной Регистр»

Е.Г. Трунин

THE ASSESSMENT OF ENVIRONMENTAL EFFICIENCY OF ECONOMIC ACTIVITIES OF RIVER PORTS
Russian River Register
E.G. Trunin

Considered are the main stages of the environmental assessment of efficiency of economic activities of river ports.

Keywords: environmental management, environmental efficiency, river port, economic activities

Рассматриваются основные этапы оценки экологической эффективности хозяйственной деятельности речных портов.

Современное направление интеграции России во всемирную торговую организацию и связанное с этим открытие международных транспортных коридоров, в том числе на участках внутренних водных путей, повышает уровень требований ко всем участникам транспортного процесса, включая речные порты. При этом большое внимание уделяется вопросам обеспечения экологической безопасности транспортных комплексов, что как показывает международный опыт, можно обеспечить внедрением в их хозяйственную деятельность систем экологического управления.

Одной из важнейших целей создания и функционирования систем экологического управления является повышение экологической эффективности хозяйственной деятельности, которая может быть достигнута управлением теми элементами деятельности, которые оказывают значительное воздействие на окружающую среду (ОС). Оценка экологической эффективности (ОЭЭ) – это внутренний процесс и инструмент управления, предназначенный для обеспечения руководства порта достоверной и подтверждаемой текущей проверкой информации, позволяющей определить соответствие экологической эффективности совокупности заданных критериев [1].

Информация, полученная при ОЭЭ, позволяет:

- определить мероприятия, необходимые для обеспечения соответствия экологической эффективности порта, установленным критериям;
 - идентифицировать важные экологические аспекты;
 - выявить возможности совершенствования управления экологическими аспектами (например, предотвращение загрязнений);
 - выявить тенденции изменения экологической эффективности;
 - повысить эффективность и результативность хозяйственной деятельности порта.
- ОЭЭ осуществляется по следующему алгоритму: «Планирование-Выполнение-Мониторинг» (рисунок).

На этапе планирования ОЭЭ необходимо учитывать важные экологические аспекты, которые могут контролироваться и на которые можно повлиять, а также критерии экологической эффективности. Для определения важных экологических аспектов хозяйственной дея-

тельности речных портов необходимо рассматривать:

- тип и объемы используемых материалов и энергоносителей;
- выбросы и сбросы в ОС;
- величину экологического риска;
- состояние ОС;
- возможность аварийных ситуаций;
- требования природоохранного законодательства.

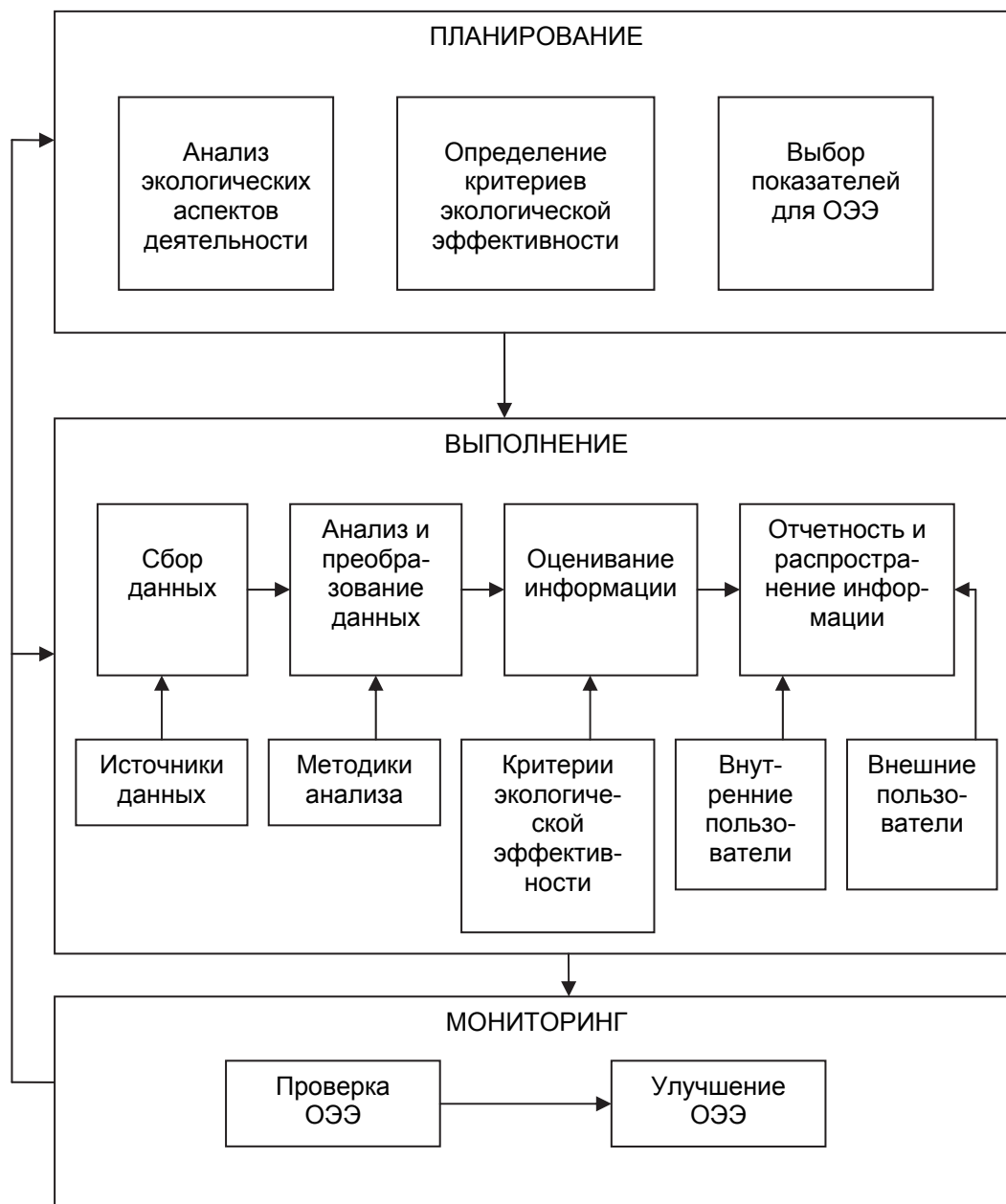


Рисунок – Алгоритм оценки экологической эффективности

Для разработки критериев экологической эффективности используется следующая информация:

- идентификация деятельности, наиболее значимо влияющей на ОС (например, перегрузочные комплексы);
- данные о материальных и энергетических входных потоках, выбросах, сбросах, отходах и оценки этих данных в понятиях экологического риска;
- аспекты деятельности порта, которые являются объектом экологического регулирования;
- идентификация наилучших используемых технологий перегрузочного процесса в речных портах;
- определение деятельности порта, наиболее затратной на охрану ОС или обладающей

соответствующими выгодами.

Важным элементом планирования является выбор показателей ОЭЭ, которые дают возможность сопоставления экологической эффективности с выбранными критериями, получая при этом количественную или качественную оценку этого соответствия. Показатели ОЭЭ можно разделить на показатели экологической эффективности (ПЭЭ) и показатели состояния ОС (ПСОС). В свою очередь ПЭЭ подразделяются на два типа:

- показатели эффективности управления (ПЭУ), обеспечивающие информацию о деятельности администрации порта, оказывающей влияние на экологическую эффективность;
- показатели эффективности функционирования (ПЭФ), обеспечивающие информацию об экологической эффективности функционировании порта.

ПЭУ должны давать информацию о способности администрации порта и предпринимаемых усилиях в такой управленческой деятельности, как выполнение требований законодательства, обеспечение ресурсами и их эффективное использование, регулирование затрат на управление ОС, обучение персонала.

ПЭФ должны предоставлять администрации информацию об экологической эффективности хозяйственной деятельности порта. ПЭФ охватывают:

- входные материальные потоки (например, обработанные, восстановленные повторно используемые или исходные сырьевые материалы, природные ресурсы), энергию и услуги;
- проектирование, монтаж, функционирование (включая аварийные ситуации) и техническое обслуживание сооружений и оборудования порта;
- выходные потоки: услуги, отходы (твердые, жидкие, опасные, безопасные, пригодные к восстановлению, повторному использованию), выбросы/сбросы, являющиеся результатом функционирования порта.

В качестве ПСОС могут использоваться установленные законодательством показатели качества ОС в виде предельно допустимых концентраций соответствующих вредных веществ в различных компонентах природной среды (воздух, гидросфера, литосфера).

На стадии «Выполнение» производится сбор и использование данных и информации для ОЭЭ в последовательности, указанной на рисунке.

Порт должен регулярно собирать исходные данные для расчета значений выбранных показателей ОЭЭ. Процедура сбора данных должна обеспечивать их достоверность, что зависит от их доступности, адекватности, научной и статистической значимости и проверяемости. Сбор данных включает соответствующие процедуры идентификации, ввода, хранения, выборки и представления данных и информации. При этом порт может использовать собственные данные, а также внешние источники информации (данные мониторинга, отчеты природоохранных органов, научные отчеты, заключения по экологической экспертизе и т.п.).

Собранные данные должны быть проанализированы и преобразованы в информацию, описывающую экологическую эффективность порта в виде показателей ОЭЭ. Анализ данных охватывает их качество, значимость, адекватность и полноту, необходимые для получения надежной информации. Информацию, полученную в результате анализа данных, выраженную в виде ПЭЭ и ПСОС, необходимо сравнивать с выбранными критериями экологической эффективности порта. Такое сравнение может указывать на улучшение или ухудшение экологической эффективности, что является важным для администрации порта по совершенствованию своей хозяйственной деятельности.

ОЭЭ хозяйственной деятельности порта и ее результаты необходимо периодически рассматривать для выявления возможностей улучшения управления при функционировании порта в части снижения негативного воздействия на ОС.

Таким образом, ОЭЭ является важнейшей составной частью экологического управления и дает возможность порту соответствовать возрастающим экологическим требованиям национальных и международных нормативных документов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р ИСО 14031-2001. Управление окружающей средой. Оценка экологической эффективности. Общие требования. -Введ. 01-10-2001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экологическое управление, экологическая эффективность, речной порт, хозяйственная деятельность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Трунин Евгений Геннадьевич, канд. экон. наук, генеральный директор ФАУ «PPP»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105187, г.Москва, Окружной проезд, 15, корп.2, ФАУ «PPP»

ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВНАЯ СТАТЬЯ РАСХОДОВ В РАБОТЕ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.С. Попенко

FUEI AND OIL MATERIALS AS THE MAIN ITEM OF EXPENDITURE IN THE TRANSPORT FLEET

Novosibirsk state academy of water transport

A.S. Popenko

The basic relations consumption of fuel and oil materials. Ways of reducing these expenditures on the basis of the experience of shipping companies operating.

Keywords: fuel and oil materials, consumption, reduction of expenditures

Рассмотрены основные зависимости, влияющие на уровень потребления горюче-смазочных материалов. Пути снижения данных расходов на основании современного опыта эксплуатационной деятельности судоходных компаний.

Затраты на топливо являются одной из основных статей эксплуатационных расходов судовладельцев. Они, как известно, для главного двигателя пропорциональны кубу скорости и существенным образом влияют на эффективность работы судна в рейсе. Поэтому вопросы выбора рациональной скорости, приборов учета, поставщиков топлива и др. становятся актуальными на сегодняшний день.

Сезонный характер спроса предприятий речного транспорта на судовые горюче-смазочные материалы (ГСМ) обусловлен сезонными перевозками, которые приходятся на летние месяцы. Бункеровка речного флота носит преимущественно сезонный характер. Судна, работающие в бассейнах Сибири, в навигационный период с апреля по ноябрь потребляют большой объем топлива. В зимний период объем бункеровок флота речных предприятий значительно снижается или прекращается из-за постановки судов на зимний отстой. Удельный расход топлива судов, работающих в осенний период навигации, также несколько повышается из-за ухудшения погодных условий. Соответственно, рынок бункеровки речного флота останется перспективным. Речной сегмент на бункерном рынке является одним из существенных.

Функционирование судна в качестве транспортного средства связано с определенными издержками. Судовладелец всегда старается держать под контролем факторы, влияющие на себестоимость перевозок. На себестоимость перевозок оказывают влияние их объем и дальность, грузоподъемность судов, мощность и тип главных двигателей, расход топлива, численность экипажа, доля порожних пробегов, продолжительность работы судна в течение года. Анализ себестоимости перевозок имеет важное значение при коммерческих расчетах, так как обеспечивает возможность поиска путей уменьшения издержек, связанных с эксплуатационной работой.

Из множества факторов, влияющих на уровень себестоимости, одним из наиболее существенных является расход топлива. В структуре расходов речного транспорта 30% составляют расходы на ГСМ.

Затраты на топливо являются значительной частью в структуре расходов [4]. Судовладелец не имеет возможности влиять на цены топлива, но может контролировать уровень его потребления. Уровень потребления топлива, прежде всего, зависит от типа и мощности судовой энергетической установки, её технического состояния, вида и сорта топлива, коэффициента использования мощности двигателя. Объем потребления топлива зависит также от физического состояния судна, направления и объема перевозок, эксплуатационной скорости, среднерыночного уровня расходов по закупке топлива, эффективность оперативного менеджмента судна, включая организационную структуру управления судоходной компании.

При проектировании судна устанавливается скорость полного хода. Если реальные условия эксплуатации судна отличаются от принятых при проектировании, то экономичная скорость может быть, ниже технической скорости. В этом случае при работе на сниженной скорости происходит экономия расходов на топливо из-за снижения сопротивления движению. Объем потребления топлива пропорционален кубу эксплуатационной скорости

$$q = q^* \left(\frac{v}{v^*} \right)^b,$$

- где q – фактическое потребление топлива, т/сут.;
 v – фактическая эксплуатационная скорость;
 q^* – потребление топлива, соответствующее технической скорости;
 v^* – техническая скорость.

Степень b для дизельных двигателей равна приблизительно трём. Отсюда следует, что уровень потребления топлива существенным образом зависит от скорости. Например, для буксира проекта 1741А снижение эксплуатационной скорости с 11,0 до 8,0 км/ч приводит к экономии потребления топлива в сутки на 27,4% (таблица 1) [1].

При любой скорости объем потребления топлива зависит от конструкции корпуса судна и его состояния. Между доковыми ремонтами на рост на корпусе судна увеличивает его сопротивление движению, сокращая скорость до 0,5-1,0 км/ч. Состояние корпуса ухудшается с возрастом судна, так как его поверхность ежегодно очищается и перекрашивается. Этот недостаток в определенной мере устраняется при использовании специальных красок, которые снижают уровень загрязнения корпуса судна.

Тем не менее, уровень потребления топлива для судов одинакового размера и при одинаковой скорости может быть различным. Например, потребление топлива для двух буксиров проекта 1741А может отличаться на 15-20%, в зависимости от возраста судна и состояния корпуса. Типичная структура расходов ГСМ для судов, работающих в бассейнах Сибири:

- топливо для главного двигателя 80%;
- топливо для вспомогательных механизмов 20%.

Как показывает практика эксплуатационной деятельности, расход ГСМ на судне также зависит от плотности используемого топлива. Например, для буксира проекта 1741А расход топлива в сутки в зависимости от марки приведен в таблице 2 [2, 3].

Расход ГСМ зависит от направления и объема перевозок. Наглядно рассмотрены показатели работы ОАО «Иртышское пароходство» за 2010-2011 гг., как зависимость объема выполненных перевозок и использованных при этом энергоресурсов, в таблице 3 и 4.

Таблица 3 – Основные показатели работы

| Показатели | Единица измерения | 2010 г. | 2011 г. | Отношение 2011 г./2010 г., % |
|--------------------------------------|-------------------|---------|---------|------------------------------|
| Перевозки грузов всего, в том числе: | | 488,1 | 594,5 | 121,8 |
| – налив | тыс. т | 384,1 | 296,2 | 77,1 |
| – сухогрузы | | 104,0 | 298,3 | 286,8 |
| Грузооборот всего, в том числе: | | 481,2 | 578,9 | 120,3 |
| – налив | млн. т·км | 421,3 | 267,3 | 63,4 |
| – сухогрузы | | 59,9 | 311,6 | 520,2 |
| Перевозки пассажиров | тыс. чел. | 35,7 | 34,6 | 96,9 |
| Пассажиروоборот | млн. п·км | 15,1 | 13,0 | 86,1 |
| Доходы от основной деятельности | млн. руб. | 599,0 | 684,4 | 114,3 |
| Расходы от основной деятельности | млн. руб. | 591,4 | 683,0 | 115,5 |

В 2010 году дизельное топливо занимало 87,4%, в 2011 году – 91,6% от общего объема потребления энергоресурсов. Рост потребления в денежном эквиваленте составил 4,2%. Это связано с увеличением объема перевозок грузов, и также повышением цен на энергоресурсы.

Таблица 1 – Зависимость суточного потребления топлива от скорости движения

| Скорость, км/ч | Потребление топлива, т |
|----------------|------------------------|
| 11,0 | 1,90 |
| 10,5 | 1,82 |
| 10,0 | 1,73 |
| 9,5 | 1,64 |
| 9,0 | 1,56 |
| 8,5 | 1,47 |
| 8,0 | 1,38 |

Таблица 2 – Суточный расход топлива для буксира проекта 1741А

| Марка дизельного топлива | Расход, т |
|--------------------------|-----------|
| ДТЛ 0,05-65 | 1,7 |
| ДТЛ 0,05-62 | 1,9 |

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 4 – Информация об объеме каждого из энергоресурсов

| Вид энергетического ресурса | Единица измерения | Объем потребления, тыс.руб. | |
|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|---------|
| | | 2010 г. | 2011 г. |
| Электрическая энергия | тыс. кВт·ч | 8498 | 7344 |
| Тепловая энергия | гкал | 1993 | 2067 |
| <i>Дизельное топливо</i> | т | 128927 | 182613 |
| Бензин | т | 1428 | 1185 |
| Уголь | т | 55 | 42 |
| Дрова | м ³ | 282 | 331 |
| Газ | тыс. м ³ | 6357 | 5671 |
| Итого | тыс. руб. | 147540 | 199254 |

Динамика и структура доходов и расходов ОАО «Иртышского пароходства» (ОАО «ИРП») представлена в таблице 5.

Таблица 5 – Динамика и структура доходов и расходов ОАО «Иртышское пароходство»

| Показатели | Значение по годам, тыс.руб. | | Изменение | | Структура, % | |
|--|-----------------------------|---------|-----------------|---------|--------------|---------|
| | 2010 г. | 2011 г. | абс., тыс. руб. | отн., % | 2010 г. | 2011 г. |
| Доходы от основной деятельности | 500845 | 502334 | 1489 | 0,3 | 83,6 | 73,4 |
| – от перевозок пассажиров | 25085 | 14631 | -10454 | -41,7 | 4,2 | 2,1 |
| – от перевозок сухогрузов | 62119 | 132903 | 70784 | 113,9 | 10,4 | 19,4 |
| – от перевозок нефтегрузов | 346155 | 289892 | -56263 | -16,3 | 57,8 | 42,4 |
| – от сдачи флота в аренду | 39028 | 31286 | -7742 | -19,8 | 6,5 | 4,6 |
| Прочие сборы | 12307 | 23964 | 11657 | 94,7 | 2,1 | 3,5 |
| Переправы, пассажирские вокзалы | 11 | 4 | -7 | -63,6 | 0,0 | 0,0 |
| Итого доходов от перевозок | 484705 | 492680 | 7975 | 1,6 | 80,9 | 72,0 |
| От портовых перегрузочных работ | 10652 | 7814 | -2838 | -26,6 | 1,8 | 1,1 |
| От прочих сборов перегрузочных работ | 5488 | 1840 | -3648 | -66,5 | 0,9 | 0,3 |
| Итого по перегрузочным работам | 16140 | 9654 | -6486 | -40,2 | 2,7 | 1,4 |
| Доходы от вспомогательной деятельности | 98130 | 182030 | 83900 | 85,5 | 16,4 | 26,6 |
| Всего доходов | 598975 | 684364 | 85389 | 14,3 | 100,0 | 100,0 |
| Всего расходов, в том числе | 591382 | 683044 | 91662 | 15,5 | 100,0 | 100,0 |
| – зарплата | 188193 | 193352 | 5159 | 2,7 | 31,8 | 28,3 |
| – социальный налог | 45243 | 59094 | 13851 | 30,6 | 7,7 | 8,7 |
| – <i>топливо, электроэнергия</i> | 138326 | 173398 | 35072 | 25,4 | 23,4 | 25,4 |
| – материалы | 18819 | 27844 | 9025 | 48,0 | 3,2 | 4,1 |
| – амортизация основных фондов | 24883 | 21876 | -3007 | -12,1 | 4,2 | 3,2 |
| – затраты на ремонт | 59303 | 63423 | 4120 | 6,9 | 10,0 | 9,3 |
| – КОФ | 5856 | 5820 | -36 | -0,6 | 1,0 | 0,9 |
| – прочие расходы | 108666 | 137994 | 29328 | 27,0 | 18,4 | 20,2 |
| – налоги, сборы, платежи | 2093 | 243 | -1850 | -88,4 | 0,4 | 0,0 |
| Финансовый результат | 7593 | 1320 | -6273 | -82,6 | | |

Фактические эксплуатационные расходы за 2011 год составляют 101,9% к плановой смете и 115,5% к факту 2010 года. Увеличение расходов связано со значительным увеличением объема оказанных услуг по перевозке сухогрузов. Однако, темп роста доходов 114,3% ниже темпа роста расходов, что приводит к уменьшению финансового результата. А увеличение оказываемых услуг по перевозке ведет к увеличению расходов, в частности расходов на ГСМ. Количество потребляемого топлива из общего числа расходов возросло с 23,4% до 25,4% к 2011 году.

Также, рассмотрим уровень расходов на топливо при включении их в себестоимость перевозок на примере ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» (ОАО «ЗСРП»), где была сделана выборка из бухгалтерского баланса по наиболее показательным годам эксплуатационной работы (таблица 6).

Расходы на топливо в среднем составляют 26-45% от общего числа расходов, отнесенных к себестоимости по основной деятельности речного предприятия (таблица 7).

Рост объема потребления топлива по сравнению с 2008 годом составил 16,2%. Основными местами бункеровок флота пароходства традиционно являются бункеровочные базы,

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

которые заправляются с бензовозов в Новосибирской и Томской областях. Иные способы бункеровки флота не производятся, ввиду неконкурентоспособности цен на топливо, предлагаемых бункерными компаниями других регионов Обского и Обь-Иртышского бассейнов.

Таблица 6 – Динамика и структура расходов ОАО «ЗСПП», тыс. руб.

| Показатели | 2002 г. | 2003 г. | 2004 г. | 2008 г. | 2009 г. |
|-----------------------------------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Себестоимость, в том числе | 573 285 | 397 311 | 247 564 | 279 326 | 240 540 |
| – заработная плата с отчислениями | 246 073 | 155 225 | 56 105 | 86 591 | 83 390 |
| – топливо | 151 839 | 130 530 | 74 798 | 122 903 | 93 000 |
| – ремонт | 51 376 | 29 560 | 24 269 | 33 519 | 8 000 |
| – материальные затраты | 26 282 | 12 971 | 17 939 | 36 313 | 56 150 |

Таблица 7 – Объемы потребления бункерного топлива судами ОАО «ЗСПП», т

| Годы | Среднемесячный объем потребления | Объем потребления за навигацию (апрель-октябрь) |
|---------|----------------------------------|---|
| 2008 г. | 697 | 4881 |
| 2009 г. | 221 | 1547 |
| 2010 г. | 810 | 5670 |
| 2011 г. | 719 | 5035 |

На каждом речном предприятии устанавливаются нормы расхода ГСМ для каждого проекта судов, с учетом их технических особенностей. Примеры норма расхода ГСМ для двух крупных судовладельцев Обского бассейна приведены в таблице 8 и 9.

Таблица 8 – Нормы расхода ГСМ судов ОАО «ЗСПП»

| Проект судна | Тип механизмов и норма топлива на два двигателя, кг/ч | | | Норма масла, % от топлива |
|--------------|---|---------------------------|-------|---------------------------|
| | Главный двигатель | Вспомогательные механизмы | Котел | |
| 866 | 60 | 25,5; 5 | 7 | 2,5 |
| 911 | 45 | 5 | 7 | 2,5 |
| 1741А | 60 | 5 | 7 | 2,5 |
| Р-33Б | 60 | 9 | 7 | 2,5 |
| 428.2 | 196 | 21; 9 | 22 | 2,5 |
| Н-3290 | 196 | 21; 9 | 22 | 2,5 |
| Р-96Б | 48 | 5 | – | 2,5 |

Таблица 9 – Нормы расхода ГСМ судов ОАО «ТСК», кг/ч

| Проект судна | Работа (вниз/вверх) на каждый двигатель, кг/ч | | Маневры | Котел | Вспомогательные механизмы | Норма масла, % от топлива |
|--------------|---|------------------------------|---------|-------|---------------------------|---------------------------|
| | с составом | на верхних участках, во льду | | | | |
| 908 | 23 | 18 | 12 | – | 4 | 2,0 |
| 911 | 23 | 18 | 12 | 7 | 4 | 2,0 |
| 1741А | 34 | 28 | 14 | 7 | 4 | 2,0 |
| Р-33Б | 34 | 28 | 14 | 7 | 4 | 2,0 |
| 428.2 | 99 | 89 | 42 | 23 | 6 | 2,0 |
| Н-3260 | 120 | 95 | 47 | 23 | 6 | 2,0 |

Норма расхода топлива на рейдово-маневровые работы 60% от нормы указанной в таблице. Техническая скорость рассчитывается путем деления пройденного расстояния на фактическое ходовое время в пути без учета стояночного и маневрового времени и должна соответствовать также существующим нормам скоростей движения для определенного проекта судна, которые регламентированы в зависимости от:

- участка эксплуатационной работы (магистраль/малая река);
- состава (форма счала);
- направления движения (вниз/вверх по течению);
- загрузки (груженный/порожний) [4].

Техническая скорость при данных нормах расхода находится в зависимости от времени прохождения определенного кругового рейса, которое строго регламентировано.

Одной из основных задач эксплуатационной деятельности является не увеличение доходов, а уменьшение расходов. В данном случае, важными являются факторы, оказываю-

щие влияние на снижение издержек на ГСМ. Основными путями снижения данных расходов являются:

- Система мониторинга, контроля и диспетчерского управления судами.
- Выявление резервов мощностей работы судов, при этом исключая увеличение расходов ГСМ.
- Переход на более дешевые сорта топлива и использование присадок.
- Поиск поставщиков на рынке бункерного топлива с выгодными ценами, заключение контрактов на оптовые поставки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Винников, В.В. Экономика предприятия морского транспорта (экономика морских перевозок): учеб. для вузов вод. трансп. / В.В. Винников. -2-е изд., перераб. и доп. -Одесса: Латстар, 2001. -416 с.
- 2 Касьянова, Г.Ю. ГСМ: нормы расхода, бухгалтерский учет и налогообложение / Г.Ю. Касьянова. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: АБАК, 2010. -128 с.
- 3 Сборник норм расхода топлива и смазочных материалов для механических транспортных средств, судов, машин, механизмов и оборудования в Республике Беларусь. В 2 т. Т.2. -15-е изд., перераб. и доп. -Минск: БелНИИТ «Транстехника», 2010. -224 с.
- 4 Материалы эксплуатационно-экономической деятельности ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство», ОАО «Томская судоходная компания», ОАО «Иртышское пароходство», ОАО «Ленское объединенное речное пароходство». Расходы и себестоимость перевозок. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: zsrp.ru, tsc.tomsk.ru, irsc.ru, loip.ru, roopartner.ru.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *горюче-смазочные материалы, уровень потребления, снижение расходов*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Поленко Анна Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.С. Воробьев, А.Л. Манаков

CONCEPT OF SIMULATION OF ORGANIZATION OF PRODUCTION INFRASTRUCTURE SECTOR RAILWAYS
Siberian state transport university
V.S. Vorobjev, A.L. Manakov

A classification of simulation models and the structure of simulation system applied to overhaul the railway aimed at linking the interaction of a sufficiently large number of participants in the production process, reducing downtime track machines, the timing of production work, as well as breakdowns of «free period», to improve the efficiency of the transportation process and safety.

Keywords: infrastructure, railways, simulation, model, overhaul

Дана классификация имитационных моделей и структура имитационной системы применительно к капитальному ремонту железнодорожного пути, направленной на увязку взаимодействия достаточно большого числа участников производственного процесса, сокращение простоев путевых машин, сроков производства работ, а также срывов «окон», на повышение эффективности перевозочного процесса и безопасности движения.

Основной целью создания инфраструктурного комплекса железных дорог, принятой в Программе реформирования железнодорожного транспорта, предусматривалось повышение эффективности капитального ремонта и модернизации пути, объектов автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения за счет упорядочения организационно-производственных функций хозяйств и рационального использования инвестиций. Реорганизация действующего производства в процессе непрерывной эксплуатации железных дорог, требующая создания организационных структур инфраструктурного комплекса по вертикали, перестройки структур путевого хозяйства, служб автоматики и телемеханики, электрификации и электроснабжения, перераспределения функций управления между ними, создания, по сути, новой системы сквозного планирования не только в рамках названных подразделений, но и дирекций по ремонту пути, дирекций по ремонту путевых машин является сложной проблемой для практической реализации, требующей поиска новых научно обоснованных решений. Поэтому актуальными становятся исследования по формированию организационных структур, системы планирования и оценки их эффективности различными экономико-математическими методами на базе комплекса математических моделей и моделирования организационно- производственных процессов.

Одна из основных концепций современного мировоззрения состоит в вероятностном представлении изучаемых объектов. При этом схемы жесткой детерминации рассматриваются как частные предельные случаи. К настоящему моменту разработано большое число детерминированных математических моделей, описывающих различные организационно-производственные процессы.

В связи с осознанием ограниченности оптимизационных методов большое внимание стало уделяться имитационному подходу к анализу проблем принятия решений, имеющему важные преимущества перед другими экономико-математическими методами.

Имитационное моделирование дает возможность широкого использования математического аппарата и вычислительной техники для исследования хода организационно-экономических процессов. При этом модель исследуемого явления не выбирается из какого-либо определенного заранее класса. Она должна разрабатываться с учетом требования максимального приближения к исследуемым процессам, точности воспроизведения при различных горизонтах планирования и уровнях управления, на которых находится лицо, принимающее решение (ЛПР).

Имитационному моделированию как направлению исследования производственно-экономических систем в научной литературе уделено достаточно много внимания [1, 2 и др.]. Большой вклад в развитие имитационного моделирования в системотехнике строительства внес Ю.А. Куликов [3]. Один из авторов разработал ряд имитационных моделей технологии строительства новых железных дорог, его планирования и прогнозирования, организационных структур управления транспортно-строительного комплекса [4].

Вместе с тем, исследований по имитационному моделированию организационно-технологических и информационных процессов капитального ремонта железнодорожного пути, информационного взаимодействия предприятий инфраструктурного комплекса недостаточно. Они посвящены лишь отдельным сторонам производственных процессов эксплуатации и содержания железных дорог и не охватывают производство в целом (с учетом иерархии исполнителей и материально-технического обеспечения). Поэтому разработка комплекса имитационных моделей данного класса является актуальной задачей.

Под имитационным моделированием применительно к теме нашего исследования будем понимать воспроизведение и исследование организационно-производственных процессов или явлений капитального ремонта и модернизации объектов инфраструктурного комплекса железных дорог на имитационной модели с помощью ЭВМ или других технических средств.

Различают два вида имитации: статическую и динамическую [5]. При статической имитации проигрывается моделируемая ситуация при различных начальных условиях. При динамической имитации рассчитывается поведение системы в течение длительного времени без изменения начальных условий и параметров модели.

Если при имитации учитывается воздействие случайных факторов, то такая имитация называется стохастической. Если влияние случайных факторов не учитывается, то имитация называется детерминированной.

В [4] дана классификация применительно к строительству новых железных дорог. Приняв ее за основу, дадим классификацию имитационных моделей применительно к инфраструктурному комплексу железных дорог (ИКЖД).

Динамические модели – модели, имитирующие производственные процессы инфраструктурного комплекса железных дорог во времени.

Статические модели – модели, имитирующие состояние ИКЖД в заданный момент времени.

Стационарные модели – модели, имитирующие состояние или процесс ИКЖД, у которого при действии внешних возмущений параметры зависят только от интервала времени между моментом начала действия входного возмущения и текущим моментом времени.

Нестационарные модели – модели, имитирующие процесс ИКЖД, параметры которого зависят от текущего времени и времени начала действия внешних возмущений.

Непрерывные во времени модели – модели, у которых параметры процессов ИКЖД определены для любого момента времени.

Дискретные во времени модели – модели, у которых параметры процессов ИКЖД определены в дискретные моменты времени.

Пространственные модели – модели, имитирующие процессы ИКЖД в пространстве (линейно-протяженные, объемные объекты).

Сосредоточенные модели – модели, не учитывающие пространственных координат объектов ИКЖД.

Детерминированные модели – модели, в которых выходные параметры, получаемые в процессе имитации, однозначно определяются через исходные параметры, ограничения и целевую функцию.

Стохастические (вероятностные) модели – модели, учитывающие при имитации воздействие случайных факторов на процессы ИКЖД.

В настоящее время наибольшую известность приобрели следующие методы имитационного моделирования:

- метод моделирования по Δt ;
- метод «особых состояний»;
- метод последовательной проводки заявок.

Метод моделирования по Δt заключается в изменении модельного времени с постоянным шагом.

Метод «особых состояний» заключается в формировании текущего момента модельного времени на основании момента наступления первого события в календаре.

Метод последовательной проводки заявок осуществляет отдельную обработку списка работ каждой машины технологического комплекса путевых машин, моделируя путь заявки (работы) от входа моделируемой системы к выходу.

Основным принципом применения имитационных моделей для целей планирования и прогнозирования процессов ИКЖД является сочетание способностей человека (ЛПР) с возможностями программного обеспечения имитационных моделей. Это позволяет реализовать преимущества неформального творческого человеческого мышления и достоинства быстрой формально-логической имитации строительного производства.

Человеко-машинные системы, реализующие изложенный подход, получили название имитационных систем. В них методы имитации используются в сочетании с другими методами и моделями, что обеспечивает эффективное исследование процесса.

Постановка задачи осуществляется лицом, принимающим решения (ЛПР). На этой стадии задается иерархический уровень (бригада, участок, СМП), параметры управления, задается режим работы: диалоговый или иной, имитация стохастическая или детерминированная, с оптимизацией или без оптимизации.

В соответствии с поставленной задачей и принятым режимом работы осуществляется сборка модулей. Далее осуществляется имитация строительного производства на планируемом или прогнозируемом отрезке времени. После завершения имитации ЛПР или с помощью сервисного математического обеспечения осуществляется оценка результатов имитации и проводится их анализ. Если полученный результат удовлетворяет заданным критериям качества, то моделирование прекращается. В противном случае производится изменение управляемых параметров и имитация повторяется. Изменение параметров в зависимости от режима работы может производиться автоматически или ЛПР.

Разработанная авторами структурная схема имитации строительного производства приведена на рисунке. Основным звеном структурной схемы является блок имитации капитального ремонта объектов инфраструктуры. Имитация осуществляется с помощью одной из имитационных моделей в зависимости от поставленной задачи:

- имитационной моделью капитального ремонта объектов инфраструктуры при лучевой схеме организации работ;
- имитационной моделью капитального ремонта объектов инфраструктуры, реализующих метод Δt ;
- имитационной моделью капитального ремонта объектов инфраструктуры с дискретными состояниями.

Первая модель наиболее полно отражает специфику линейного характера производства работ при наличии одного, двух и более опорных пунктов.

Вторая и третья модели учитывают различный характер взаимосвязей между работами (набор работ, линейные связи, сетевые с совмещением работ и без).

Вторая имитационная модель позволяет проследить развитие процесса капитального ремонта в любой момент времени, что необходимо при оперативном (неделя/декада, месяц) прогнозировании и планировании.

Третья имитационная модель отражает моменты начала и окончания работ на объек-

тах, что достаточно при квартальном и годовом планировании и прогнозировании, и вместе с тем сокращает, по сравнению с первой и второй моделями, число вычислений (а следовательно, время счета).

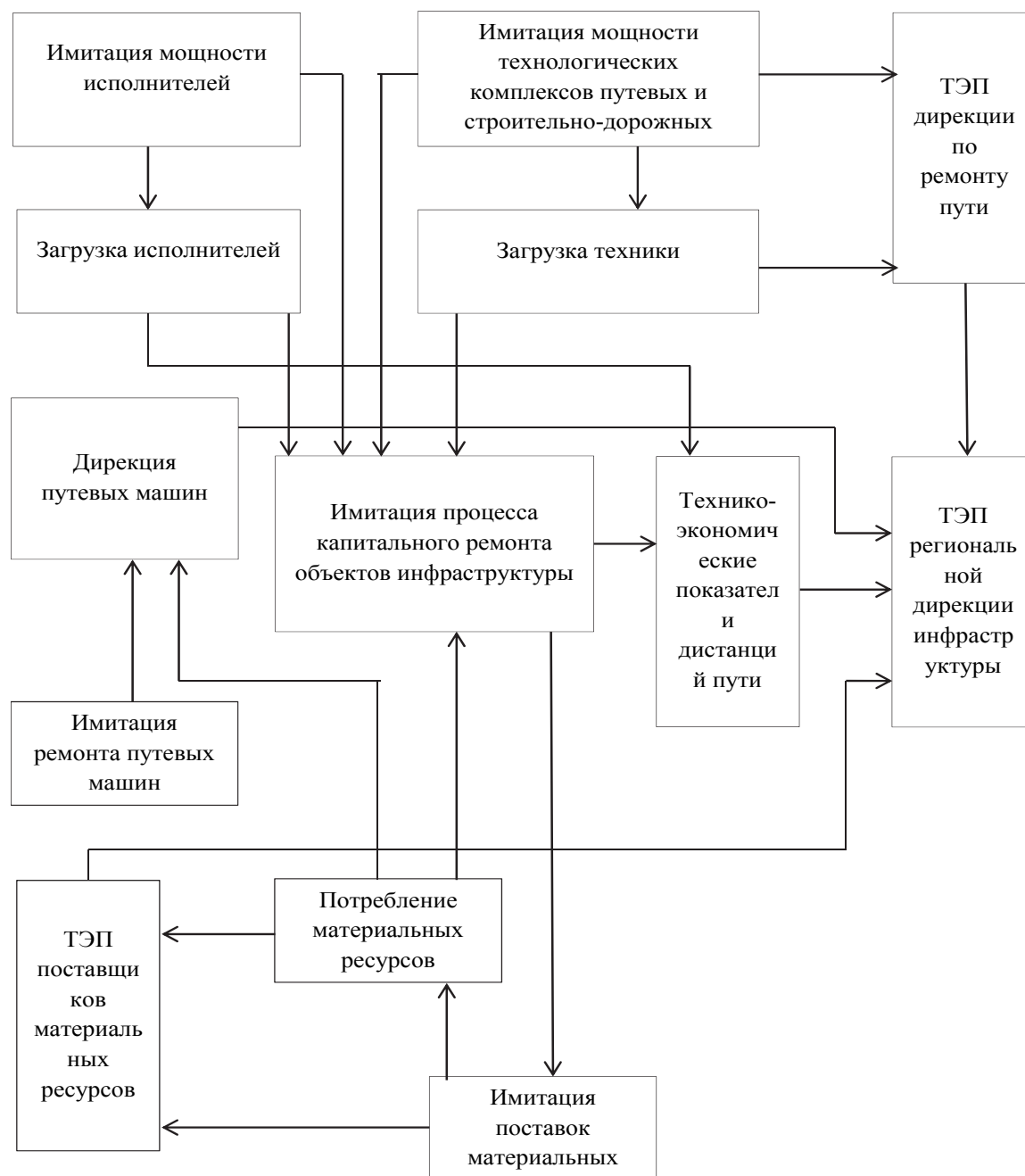


Рисунок – Структурная схема имитации капитального ремонта объектов инфраструктуры

Блоки имитации мощности исполнителей, строительно-дорожных и путевых машин имитируют их наличный состав с учетом случайных факторов (невыход на работу, болезни, отпуска и т.п., а также отказы техники, отсутствие ГСМ и др.).

Блоки загрузки по определенным эвристическим правилам производят назначение (закрепление) исполнителей, строительно-дорожных и путевых машин на отдельные объекты и работы.

Соответствующие блоки по результатам имитации рассчитывают технико-экономические показатели.

В зависимости от решаемой задачи используются те или иные блоки (модули).

Сквозное планирование производства работ при капитальном ремонте пути на основе имитационного моделирования позволит увязать взаимодействие достаточно большого числа участников производственного процесса, сократить простои путевых машин, сроки производства работ, а также срывов «окон», что в конечном счете повысит эффективность

перевозочного процесса и безопасность движения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бусленко, Н.П. Моделирование сложных систем / Н.П. Бусленко. -2-е изд. -М.: Наука, 1978. -399 с.
- 2 Горстко, А.Б. К вопросу о содержании понятия «имитационное моделирование» / А.Б. Горстко // Имитационное моделирование экономических систем. -М., 1978. -С. 21-28.
- 3 Куликов, Ю.А. Имитационное моделирование в системотехнике / Ю.А. Куликов // Системотехника / под ред. А.А. Гусаква. -М., 2002. -С. 211-230.
- 4 Воробьев, В.С. Формирование логистических систем транспортного строительного комплекса в районах индустриального освоения / В.С. Воробьев. -Новосибирск: СГУПС, 2004. -323 с.
- 5 Нейлор, Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем / Т. Нейлор. -М.: Мир, 1975. -600 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *инфраструктура, железная дорога, имитация, модель, капитальный ремонт*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
Манаков Алексей Леонидович, канд. техн. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

РАБОТА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО ТВЕРДОМУ ГРАФИКУ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Ю.А. Чечулина, О.П. Югина

FUNCTIONING OF THE CLASSIFICATION YARD IN THE COURSE OF TRANSITIONING TO FIXED SCHEDULE FOR FREIGHT TRAIN OPERATIONS

Siberian state transport university
Ju.A. Chechulina, O.P. Yugrina

The article describes the possibility of implementing a fixed schedule for freight train operations. It also considers the system for train formation used at classification yards in the course of transitioning to fixed schedule for freight trains operations.

Keywords: classification yard, scheduled train operation, fixed schedule

Проведено исследование возможности организации движения грузовых поездов с сортировочной станции по расписанию. Рассмотрена работа системы формирования поездов сортировочной станции в условиях перехода к организации движения грузовых поездов по «твердым» ниткам графика.

Сортировочные станции имеют важнейшее значение для организации движения вагонопотоков по сети железных дорог, а также для повышения эффективности работы с грузоотправителями и грузополучателями.

Недостаточная мощность сортировочных устройств, неэффективная организация движения и обработки вагонопотоков, несогласованность действий работников станции и диспетчерского аппарата приводят к значительным межоперационным простоям, что влечет за собой увеличение оборота вагонов.

Кроме этого, на показатель оборота вагона значительно влияют такие факторы, как эффективность работы локомотивного парка, техническое оснащение станций, рациональное использование пропускной способности участков, план формирования поездов [1].

Следует учитывать, что сортировочные станции являются самой дорогостоящей частью инфраструктуры железнодорожного транспорта, поэтому повышение перерабатывающей способности сортировочных станций может существенно сократить эксплуатационные расходы железнодорожного транспорта в условиях неравномерности движения.

Для того чтобы оценить влияние неравномерности движения грузовых поездов на работу станции в целом необходимо выявить зависимость между показателями эксплуатационной работы и применяемыми вариантами технологии организации перевозок (по «твердым ниткам» и по «степени готовности» составов). В настоящее время, как правило, для сортировочных станций установлен порядок работы по «готовности» составов, то есть поезда формируются в соответствии с планом формирования в зависимости от веса и длины поезда.

Нами были проанализированы все назначения плана формирования внеклассной сортировочной станции Инской Западно-Сибирской железной дороги. В таблице приведена классификация назначений плана формирования станции в зависимости от мощности ис-

следуемого назначения. В данной работе под мощностью понимается количество поездов, отправляемых на данное назначение с сортировочной станции за определенный период времени.

Таблица – Классификация назначений плана формирования в зависимости от мощности

| Условное наименование мощности назначения | Среднесуточное количество отправляемых поездов на данное назначение |
|---|---|
| Наиболее мощное | >5 |
| Мощное | 3-5 |
| Среднее | 2-3 |
| Наименее мощное | 1-2 |
| Не мощное | <1 |

Далее была дана оценка количественных и качественных показателей неравномерности движения для различной мощности назначений в соответствии с таблицей.

На рисунке 1 приведена диаграмма, показывающая неравномерность ежесуточного отправления грузовых поездов на станцию наиболее мощного назначения Алтайская в течение месяца.

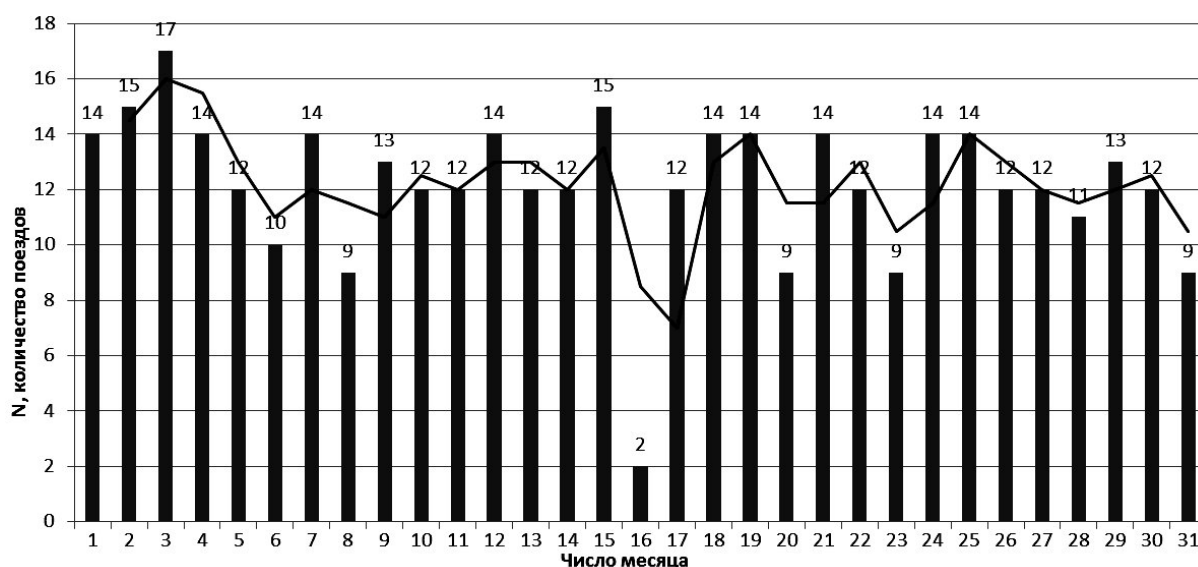


Рисунок 1 – Ежесуточное отправление грузовых поездов на станцию наиболее мощного назначения

В целях стабилизации грузового движения, регулирования его суточной неравномерности, а также для более качественного транспортного обслуживания грузовладельцев целесообразно применять технологию движения грузовых поездов по расписанию, что является твердым графиком движения грузовых поездов [2]. Для внедрения этой технологии, а также повышения эффективности взаимодействия с грузовладельцами необходимо использовать график движения с выделением в нем «ниток» для устойчивой части «ядра» грузовых поездов.



Рисунок 2 – Количество отправленных грузовых поездов наиболее мощного назначения по трехчасовым периодам

На рисунке 2 приведена диаграмма, отображающая количество отправленных поездов на станцию Алтайская в течение суток за месяц с разбивкой по трехчасовым периодам. При этом анализ проводился с указанием среднего значения.

Оценив неравномерность отправления поездов всех назначений плана формирования со станции, мы получили следующие результаты:

– по каждому назначению определен коэффициент неравномерности $K_{нер}$, который рассчитывается как отношение максимального количества отправляемых поездов $N_{макс}$ за трехчасовой период суток к среднему $N_{ср}$

$$K_{нер} = \frac{N_{макс}}{N_{ср}};$$

– выявлено, что коэффициент неравномерности уменьшается с увеличением мощности назначения. Эта зависимость представлена на рисунке 3. Аналогичные результаты были получены и при анализе отправления поездов по назначениям плана формирования станции в другие месяцы.

Анализ диаграммы дает возможность утверждать, что:

– чем менее мощное назначение плана формирования, тем более неравномерны поездопотоки в течение суток;

– наиболее мощные, а также отчасти средней мощности назначения являются наиболее стабильными, равномерными по количеству отправляемых поездов в течение суток.

Относительно каждой сортировочной системы станции Инская были проанализированы все назначения плана формирования в зависимости от объема формируемого поездопотока. На рисунке 4 изображена полученная для нечетной системы станции Инская зависимость.

Диаграмма фиксирует, что около 20% назначений (наиболее мощных, мощных) образуют 70% поездопотока от общего объема по каждой системе.

На основании вышеизложенного сделаем выводы: большая мощность отдельных назначений позволяет за счет допустимого размера простоя вагонов на сортировочных станциях обеспечивать быстрое их отправление с пунктов формирования. Однако маломощные назначения предполагают значительные простои вагонов на станции переработки.

В процессе исследования были выявлены параметры неравномерности отправления грузовых поездов с сортировочной станции в течение суток и определено наиболее вероятное время для назначения «твердых» ниток в графике движения для наиболее устойчивой части грузовых поездов («ядро» графика). Использование этой технологии позволит повысить качество транспортного обслуживания.



Рисунок 3 – Изменение коэффициента неравномерности в зависимости от мощности назначения

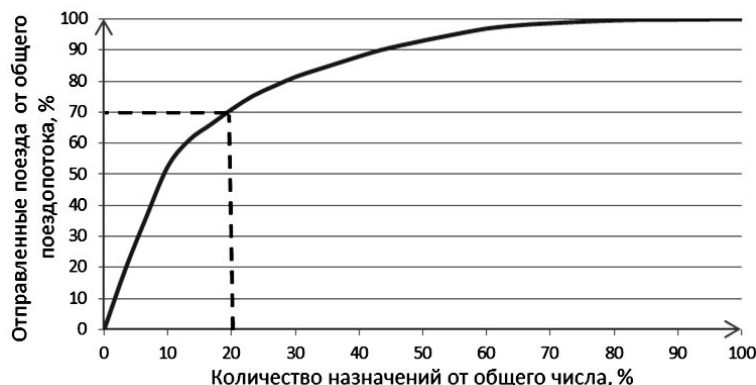


Рисунок 4 – Отпущенный поездопоток от общего количества по назначениям (начиная с наиболее мощных) в процентном соотношении

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Романова, П.Б. Работа сортировочного комплекса с вагонами разных форм собственности / П.Б. Романова, Н.А. Муковнина // Ж.-д. трансп. -2009. -№1. -С. 54-56.
 2 Шаров, В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию / В.А. Шаров, А.В. Бородин // Ж.-д. трансп. -2011. -№8. -С. 11-22.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: сортировочная станция, движение поездов по расписанию, твердый график
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Чечулина Юлия Андреевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
 Югина Ольга Павловна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДОВ И ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ г.КРАСНОЯРСКА И г.НОВОСИБИРСКА)

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

К.Л. Комаров, Д.С. Шерстобитов

AN ANALYSIS OF DIRECTIONS OF STATE AND DEVELOPMENT OF URBAN PUBLIC PASSENGER TRANSPORT OF CITY OF NOVOSIBIRSK AND NOVOSIBIRSK AGGLOMERATION
Siberian state transport university
K.L. Komarov, D.S. Sherstobitov

An expert analysis has described to marketing research of state and development of urban public passenger transport in large transport hub. Recommended actions of development public passenger transport in large cities and agglomerations of Siberia.

Keywords: state particular partnership, Siberian cities, information technologies, system of «transport organization-passenger», strategy, transport coordination, transport hub, expert analysis

Описан экспертный подход проведения маркетингового исследования состояния и направлений развития городского общественного пассажирского транспорта крупных транспортных узлов. Рекомендуются мероприятия по развитию общественного пассажирского транспорта крупных городов и городских агломераций Сибири.

Система городского общественного пассажирского транспорта (ГОПТ) объединяет пять основных видов транспорта – автомобильный (в том числе автобусный), водный, воздушный, железнодорожный и электротранспорт. Система ГОПТ предназначена для организации магистральных и смешанных пригородно-городских пассажирских перевозок. Развитие общественного пассажирского транспорта предусмотрено в основополагающих стратегических документах [1-4].

Организация смешанных пригородно-городских пассажирских перевозок осуществляется на территории городов и городских агломераций.

Министерством экономического развития РФ предложено сформировать 20 городских агломераций вокруг городов-миллионников. На территории Сибирского федерального округа выбрано четыре областных центра, на базе которых будут формироваться городские агломерации – Новосибирская, Красноярская, Иркутская, Томская [5].

В каждом выбранном городе и его агломерации система общественного пассажирского транспорта должна быть ориентирована на мобильное, доступное и комфортное перемещение населения по всем районам территории. Реализация данного сценария может быть осуществлена при условии решения проблем системы ГОПТ с учетом особенностей их развития.

Все четыре агломерации в пределах территории Сибири обладают рядом особенностей развития системы ГОПТ, зависящих от географического положения городов и прилегающей местности.

Многие проблемы развития системы ГОПТ городских агломераций Сибири могут быть решены после проведения маркетингового исследования потребностей населения в транспортном обслуживании и согласованного мнения специалистов в области пассажирских перевозок.

Экспертный анализ состояния и направлений развития ГОПТ красноярска и новосибирска. Исследование состояния и направлений развития ГОПТ городов и городских агломераций Сибири проводилось в г. Красноярске (апрель 2012 г.) и г. Новосибирске (январь-март 2013 г.). Маркетинговое исследование выполнялось с помощью классических экспертных технологий [6]. Для анкетирования экспертов были разработаны опросные листы. Результаты обрабатывались при помощи алгоритма программного продукта Ordex [7]. В ходе исследования были опрошены 31 эксперт в г. Красноярске и 25 экспертов в г. Новосибирске. Списки экспертов были утверждены Правительством Красноярского края и муниципалитетом г. Новосибирска. В число экспертов вошли руководители и сотрудники региональных, муниципальных органов власти, связанных с регулированием транспортной отрасли, транспортных организаций, ученые-транспортники университетов, обладающие необходимыми знаниями в области организации работы общественного городского пассажирского транс-

порта.

Основные результаты проведенного экспертного анализа представлены в таблицах 1-7 (в скобках указаны значения коэффициентов относительной важности (КОВ)). Чем выше КОВ, тем выше относительный рейтинг соответствующей позиции.

Таблица 1 – Экспертная оценка приоритетов потребностей пассажиров и транспортных организаций

| Красноярск | Новосибирск |
|--|--|
| 0.1 Удовлетворение потребностей пассажиров (0,968) | 0.1 Удовлетворение потребностей пассажиров (0,771) |
| 0.2 Удовлетворение потребностей транспортных организаций (0,032) | 0.2 Удовлетворение потребностей транспортных организаций (0,229) |

В таблицах 2 и 3 выделены по три приоритетные позиции результатов экспертного оценивания потребностей пассажиров и транспортных организаций. Экспертам было предложено в процессе экспертного анализа проранжировать 10 позиций интересов пассажиров и 8 подцелей транспортных организаций.

Таблица 2 – Экспертная оценка приоритетов потребностей пассажиров

| Красноярск | Новосибирск |
|--|--------------------------------------|
| 0.1.1 Время поездки (0,273) | 0.1.7 Безопасность перевозок (0,284) |
| 0.1.2 Бесперебойность движения (0,196) | 0.1.1 Время поездки (0,210) |
| 0.1.3 Безопасность перевозок (0,186) | 0.1.2 Надежность поездки (0,146) |

Таблица 3 – Экспертная оценка приоритетов потребностей транспортных организаций

| Красноярск | Новосибирск |
|--|--|
| 0.2.1 Увеличение рентабельности (0,352) | 0.2.1 Увеличение рентабельности (0,732) |
| 0.2.2 Рост объемов перевозок (0,308) | 0.2.2 Рост объемов перевозок (0,085) |
| 0.2.6 Привлечение высококвалифицированных кадров (0,078) | 0.2.6 Привлечение высококвалифицированных кадров (0,068) |

Таблица 4 – Экспертная оценка приоритетов видов транспортного взаимодействия при обслуживании и пересадке пассажиров для городов Красноярска и Новосибирска (три первые позиции)

| Красноярск | Новосибирск |
|---|--------------------------------|
| 1.1 Автобус – Автобус (0,208) | 1.18 Автобус – Метро (0,220) |
| 2.1 Автобус – Ж.Д. (0,180) | 1.1 Автобус – Автобус (0,138) |
| 1.5 Маршрутное такси – Маршрутное такси (0,067) | 1.17 Тролейбус – Метро (0,084) |

Таблица 5 – Экспертная оценка приоритетов видов транспортного взаимодействия при обслуживании и пересадке пассажиров для Красноярской и Новосибирской агломераций (три первые позиции)

| Красноярская агломерация | Новосибирская агломерация |
|-------------------------------|-------------------------------|
| 2.1 Автобус – Ж.Д. (0,416) | 1.7 Автобус – Ж.Д. (0,241) |
| 1.4 Ж.Д. – Ж.Д. (0,127) | 1.1 Автобус – Автобус (0,124) |
| 1.1 Автобус – Автобус (0,086) | 1.20 Ж.Д. – Метро (0,098) |

Полученные экспертные оценки позволяют сделать следующие выводы:

– В обоих городах предпочтение отдано подцели «0.1 Удовлетворение потребностей пассажиров» (таблица 1). Баланс в системе «Транспортная организация-Пассажир» должен сместиться в сторону обеспечения удовлетворения потребностей пассажиров.

– Для обоих городов приоритетные потребности пассажиров – «0.1.1 Время поездки» и «0.1.7 Безопасность перевозок» (таблица 2). Приоритетные потребности значительно важнее подцели «0.1.3 Обоснованность тарифов». То есть пассажир готов платить больше за безопасность, комфорт и увеличение скорости перемещения на транспорте.

– Для транспортных организаций самой важной потребностью является – «0.2.1 Увеличение рентабельности». В Красноярске выделена относительная важность потребности «0.2.2 Рост объемов перевозок» по сравнению с Новосибирском. Явное предпоч-

тение потребности «0.2.1 Увеличение рентабельности» приведет к ориентации деятельности транспортных организаций на получение прибыли и не позволит достичь остальных целей, формирующих их уровень рентабельности.

– Для г. Красноярска выделена высокая относительная важность развития транспортного взаимодействия при обслуживании и пересадке пассажиров на маршрутах между автобусным пассажирским транспортом. В г. Новосибирске отдан приоритет взаимодействию автобусного пассажирского транспорта и метрополитена (таблица 4).

– Для обеих агломераций предпочтение отдано развитию взаимодействия между автобусным и железнодорожным (пригородным) пассажирским транспортом. Для Красноярской агломерации данный вид транспортного взаимодействия выбран приоритетным. Для Новосибирской агломерации констатируется высокая относительная важность организации взаимодействия пассажирского транспорта в рамках системы «автобусный-железнодорожный (пригородный)-метрополитен».

– Из таблицы 4 и 5 видно, что для города Красноярска приоритетным является координация движения автобусного и железнодорожного (пригородного) пассажирского транспорта. В г. Новосибирске приоритет отдан координации движения автобусного пассажирского транспорта и метрополитена. В обеих агломерациях в приоритете развитие взаимодействия между автобусным и железнодорожным (пригородным) пассажирским транспортом.

Как следует из результатов, в целом необходимо сбалансированное развитие системы городского общественного пассажирского транспорта с учетом выделенных видов транспортного взаимодействия в таблице 4 и 5.

Полученные результаты позволяют построить модель государственно-частного партнерства (ГЧП) по правилу – чем выше КОВ сегмента ГОПТ – тем активнее должна быть государственная поддержка частному бизнесу, приходящему в данный сегмент.

По аналогичной схеме можно построить последовательность создания транспортно-пересадочных узлов в зависимости от КОВ транспортного взаимодействия при обслуживании и пересадке пассажиров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Транспортная стратегия РФ на период до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 22 нояб. 2008 г. №1734-р.
- 2 Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года: распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. №877-р.
- 3 О Концепции развития транспортной инфраструктуры Новосибирской области: распоряжение администрации Новосиб. обл. от 17.04.2009 г. №120-ра.
- 4 Стратегический план устойчивого развития города Новосибирска: решение город. Совета г. Новосибирска от 28.03.2005 г. №575.
- 5 В ожидании агломераций // Эксперт Сибирь. -2008. -№37(224).
- 6 Литвак, Б.Г. Экспертные технологии в управлении: учеб. пособие / Б.Г. Литвак. -2-е изд. -М.: Дело, 2004. -400 с.
- 7 Программный продукт «Ogdex»: инструкция пользователя.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *государственно-частное партнерство, города Сибири, информационные технологии, маркетинговое исследование, система «транспортная организация-пассажир», стратегия, транспортное взаимодействие, транспортно-пересадочный узел, экспертный анализ*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Комаров Константин Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС» Шерстобитов Дмитрий Сергеевич, соискатель ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ТЕЧЕНИЕ ПЕРИОДА СТРАХОВАНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

М.А. Щербинина

IDENTIFICATION PROBABILITY OF FAILURE OF HYDRAULIC STRUCTURE DURING THE INSURANCE PERIOD

Novosibirsk state academy of water transport

M.A. Shcherbinina

To reduce the amount of insurance rate waterworks, it is necessary taking into account the additional criteria for assessing the risk of an accident. The service life of hydraulic structure must be calculated taking into account the influence of fatigue failure, the action of stationary and dynamic loads. Also, the durability and structure probability of failure of the settlement period.

Keywords: insurance, hydraulic engineering constructions, operability, durability, reliable operation

Снизить сумму тарифа при страховании гидротехнических сооружений, возможно за счет введения дополнительных критериев оценки риска возникновения аварийной ситуации. Относя гидротехнические сооружения к конструкциям, срок службы которых необходимо рассчитывать как задачу о накоплении усталостных разрушений, при действии стационарных и динамических нагрузок, возможно, определить долговечность сооружения и вероятность безотказной работы в расчетный период времени.

В соответствии с Федеральными Законами №117-ФЗ «О безопасности гидротехнических сооружений» от 21.07.1997 г. и №225-ФЗ «Об обязательном страховании гражданской ответственности владельца опасного объекта за причинение вреда в результате аварии на опасном объекте» от 27.07.2010 г. большое количество гидротехнических сооружений подлежат обязательному страхованию.

Не нужно забывать и о необходимости экологического страхования, основы которого заложены Федеральным законом «Об охране окружающей среде» от 10.01.2002 г. №7-ФЗ и вышеуказанным законом №117-ФЗ, ведь риск нанесения урона окружающей среде вследствие строительства и эксплуатации гидротехнических сооружений весьма высок.

На сегодняшний день страховой тариф колеблется в весьма широких пределах приблизительно от 0,1% до 1,5% от страховой суммы. Так при страховании объекта предположим на 100 млн. руб. сумма страхового тарифа составит 100 тыс. руб. при ставке 0,1% и 1,5 млн. руб. при ставке 1,5% разница весьма ощутима.

Снизить сумму страхового тарифа, возможно за счет введения дополнительных критериев оценки риска возникновения аварийной ситуации на гидротехническом сооружении в течение определенного промежутка времени (периода страхования).

На надежность гидротехнических сооружений влияет множество факторов, такие как интенсивность эксплуатации, своевременность проведения технических обследований, ремонта, реконструкции, влияние окружающей среды.

К сожалению, на сегодняшний день нет централизованной базы данных существующих гидротехнических сооружений на внутренних водных путях, позволяющей определить сроки строительства конструкции, периодичность обследований, реконструкций, возникновения аварийных ситуаций. Экспертным центром безопасности и надежности сооружений Новосибирской государственной академии водного транспорта работа по систематизации таких данных по причальным набережным Сибири и Крайнего Севера ведется уже многолетний период времени, но не все сооружения охвачены и зачастую при обследовании приходится сталкиваться с тем, что проектная документация утеряна, журналы контроля за состоянием конструкции не ведутся, необходимые обследования выполняются не регулярно. Хотя в последнее время контроль стал заметно эффективнее, но данные не являются открытыми и проводить сравнительный анализ работы различных конструкций достаточно сложно.

Долговечность гидротехнических сооружений определяется от начала эксплуатации до потери несущей способности, она включает в себя время, затрачиваемое на поддержание технических свойств конструкций, устранение дефектов и разрушений.

Основываясь на работу Болотина В.В. «Статистические методы в строительной механике» о надежности конструкций при случайной перегрузке и собственный опыт обследования существующих причальных набережных, можно отнести гидротехнические сооружения к

конструкциям срок службы которых необходимо рассчитывать как задачу о накоплении усталостных разрушений, при действии стационарных и динамических нагрузок.

Повреждения и аварии на гидротехнических сооружениях, приводящие к мгновенной потере несущей способности на практике встречаются достаточно редко, чаще потеря несущей способности конструкции происходит постепенно вследствие разрушения или повреждения отдельных элементов конструкции.

Превышение допустимых нагрузок на сооружение является одной из основных причин разрушения конструктивных элементов, зная следующие вероятностные характеристики:

$s = s(t)$ – вероятность превышения допустимой нагрузки s за время t хотя бы один раз;

$V_0(s)$ – среднее число превышений допустимой нагрузки s в единицу времени.

Кроме того учитывая, что процесс накопления повреждений достаточно медленный, можно использовать гипотезу о линейном суммировании повреждений для определения долговечности.

Для предварительного расчета долговечности существующего гидротехнического сооружения с учетом режима эксплуатации можно использовать следующее уравнение:

$$T = \frac{1}{\int_0^{N_0} \left| \frac{dV_0(s)}{ds} \right| \frac{ds}{N(s)}},$$

где T – срок службы гидротехнического сооружения;

N – общее число повреждений конструктивных элементов приводящее к потере несущей способности.

Критерии работоспособности определяют долговечность гидротехнического сооружения, они включают физико-химические процессы разрушения, износа, старения и изменения свойств материалов из которых изготовлены конструктивные элементы.

Часть процессов, происходящих с конструкциями гидротехнических сооружений и влияющих на технические характеристики, является обратимыми, то есть с временно изменяемыми параметрами.

Возникающие же необратимые процессы приводят к прогрессивному ухудшению технических характеристик гидротехнических сооружений с течением времени. Последние серьезно влияют на долговечность конструкций, сокращая срок службы.

Наработка конструкции гидротехнического сооружения до предельного состояния зависит от множества факторов и является случайной величиной, поэтому она различна для каждого даже однотипного гидротехнического сооружения. В общем случае неодинаково будет и число восстановлений несущей способности, которые имели место до достижения конструкцией предельного состояния.

Предельное состояние гидротехнического сооружения определяется невозможностью или нецелесообразностью дальнейшего использования конструкции. Иногда это бывает из-за морального старения, значительных износов, но часто в такое состояние конструкция приходит в связи с разрушением отдельных элементов конструкции, своевременный ремонт и замена которых могут значительно продлить работоспособность сооружения.

Если отказ элемента конструкции приводит к потере эксплуатационных качеств, то такое соединение является основным и отказ является событием случайным и независимым.

Тогда вероятность безотказной работы конструкции в течение времени t равна произведению вероятностей безотказной работы ее элементов в течение того же времени. Вероятность безотказной работы элементов в течение времени t можно выразить через интенсивность отказов и вероятность безотказной работы в виде

$$P(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda(t) dt \right],$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказов,

а расчетные формулы для вероятности безотказной работы гидротехнического сооружения можно записать:

$$P_{np}(t) = P_1(t) \cdot P_2(t) \cdot \dots \cdot P_N(t) = \prod_{i=1}^N P_i(t);$$

$$P_{np}(t) = \exp \left[- \int_0^t \lambda_1(t) dt \right] \cdot \exp \left[- \int_0^t \lambda_2(t) dt \right] \cdot \dots \cdot \exp \left[- \int_0^t \lambda_N(t) dt \right] = \exp \left[- \sum_{i=1}^N \int_0^t \lambda_i(t) dt \right], \quad (1)$$

где $\lambda(t)$ – интенсивность отказов;

N – количество конструктивных элементов.

Выражение (1) позволяет определить вероятность безотказной работы гидротехнического сооружения (то есть без потери несущей способности) в расчетный (подлежащий страхованию) период времени.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *страхование, гидротехнические сооружения, работоспособность, долговечность, безотказная работа*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Щербинина Марина Александровна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПЕЗДОВ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.И. Давыдов, М.М. Никифоров

TARGET ENERGY EFFICIENCY INDICATORS ROD TRAINS

Omsk state transport university

A.I. Davydov, M.M. Nikiforov

The article describes the main elements of the methodology for analyzing the performance and power consumption in locomotives, the foundation of which is the system of targeted energy efficiency indicators at different levels of the data hierarchy of the traction power consumption.

Keywords: the analysis, indicators, monitoring, draft of trains, energy efficiency, energy consumption, specific energy consumption

Рассмотрены основные элементы методики анализа показателей работы и энергопотребления на локомотивах, основой которой является система целевых индикаторов энергоэффективности на различных уровнях иерархии данных о тяговом энергопотреблении.

Одним из основных потребителей энергоресурсов в Российской Федерации является железнодорожный транспорт. На его нужды ежегодно расходуется около 50 млрд. кВт·ч электроэнергии и 4 млн. т дизельного топлива, при этом финансовые затраты на топливно-энергетические ресурсы (ТЭР) составляют около 170 млрд. руб. В соответствии с Федеральным Законом №261-ФЗ от 23 ноября 2009 года «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности...» в период 2010-2012 гг. было проведено энергетическое обследование объектов ОАО «Российские железные дороги» [1], в ходе которых для каждого предприятия были установлены целевые показатели повышения энергоэффективности. Для их достижения должна быть организована гибкая система управления энергопотреблением, основой которой является некоторый набор индикаторов. Для системы тягового электрообеспечения целевые показатели были разработаны в Омском государственном университете путей сообщения [2]. При этом в настоящее время важной задачей является определение целевых индикаторов для локомотивного хозяйства.

Основным технологическим комплексом-потребителем ТЭР на железнодорожном транспорте является локомотивное хозяйство, обеспечивающее перевозочный процесс, его доля в энергетическом балансе предприятий составляет до 84% электроэнергии и 69% дизельного топлива. Указанная составляющая энергетического баланса железных дорог в силу своей специфики не может быть исследована с помощью широко распространенных методик энергообследования промышленных предприятий. В связи с этим в ОмГУПС разработана специальная методика энергетического обследования тяги поездов [3]. Ее важнейшим направлением является анализ показателей работы и энергопотребления на подвижном составе. Этот элемент методики был апробирован при выполнении работ по оценке энергоэффективности системы тягового электрообеспечения и электроподвижного состава и потенциала ее повышения на сети железных дорог России в 2011-2012 гг.

На рисунок 1 приведены основные направления анализа показателей работы и энергопотребления на локомотивах и ожидаемые от него результаты.

Информационной основой при выполнении анализа показателей работы и энергопотребления являются следующие отчетные формы автоматизированной системы централизованной обработки маршрута машиниста [4]:

- ТХО-1 «Отчет о расходе топлива или электроэнергии на локомотивы и моторвагонный подвижной состав бригадами депо»;
- ВЦ-11 «Расход электроэнергии на отопление пассажирских вагонов»;
- ТО-2 «Отчет о наличии и работе локомотивов в грузовом движении», раздел 3 «Для локомотивных депо по приписанным к ним локомотивным бригадам»;
- ЦО-2, раздел 2 «Показатели использования локомотивов»;
- ЦО-4 раздел 1 «Показатели работы и использования локомотивов» и раздел 2 «Показатели работы и использования вагонов» и др.



Рисунок 1 – Основные направления анализа показателей работы и энергопотребления на локомотивах

Основным целевым показателем энергосбережения в сфере тяги поездов является расход энергоресурсов на единицу перевозочной работы. Для возможности контроля динамики указанного показателя по каждому направлению анализа энергопотребления на тягу поездов разработана система целевых индикаторов повышения энергоэффективности тяги поездов, которая представлена на рисунке 2 (введены следующие сокращения: УРЭЭ – удельный расход электроэнергии, УРДТ – удельный расход дизельного топлива, СП – структурное подразделение, УР – участок работы локомотивных бригад). С целью повышения энергоэффективности тяги поездов целесообразно производить ежемесячный мониторинг ее индикаторов. Для достижения заданных значений целевых индикаторов в первую очередь необходимо использовать основные энергосберегающие технические решения и технологии по тяговой и стационарной энергетике ОАО «РЖД», определенные Энергетической стратегией железных дорог России [5]. Среди них в сфере тяги поездов приведены:

- повышение коэффициента использования мощности локомотивов;
- применение энергооптимальных технологий вождения поездов (позволяет снизить энергопотребление на величину до 5%);
- использование систем автоматизированного ведения поезда (возможно снижение до 10% потребления ТЭР на тягу);
- исключение из эксплуатации локомотивов с выработанным сроком службы, которые восстанавливать экономически нецелесообразно;
- исключение грузовых локомотивов из пассажирских перевозок, расширение типажа

маневровых локомотивов и др.

На основании опыта проведения энергетических обследований специалистами ОмГУПС сформирован Перечень типовых мероприятий, направленных на повышение эффективности использования ТЭР на тягу поездов [6], утвержденный распоряжением старшего вице-президента ОАО «РЖД».

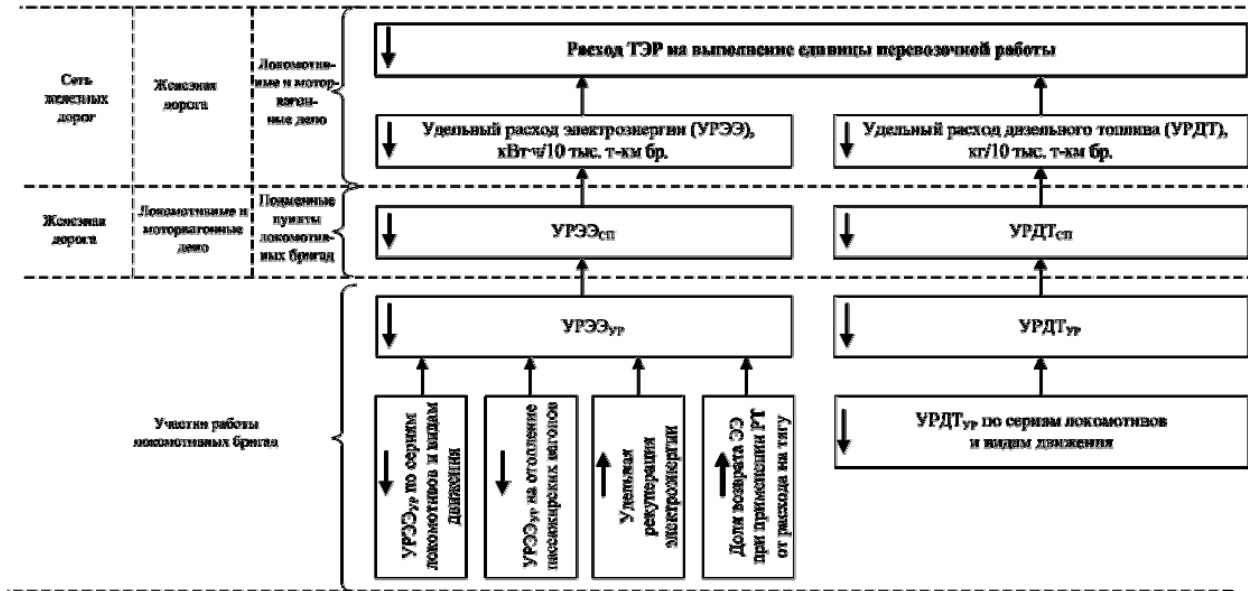


Рисунок 2 – Система целевых индикаторов повышения энергетической эффективности тяги поездов

Анализ по указанным направлениям должен проводиться машинистом-инструктором по теплотехнике ежемесячно. Оценка показателей работы и энергопотребления на тягу поездов на основе принципов системного анализа позволяет получить объективную картину тягового энергопотребления на каждом иерархическом уровне потребления энергоресурсов и разработать комплекс организационно-технических мероприятий по повышению энергетической эффективности элементов перевозочного процесса. Экспертные оценки свидетельствуют о том, что такой непрерывный мониторинг может привести к эффекту от 0,5 до 1,5% от расхода на тягу поездов. Основными составляющими этих показателей является снижение удельного расхода энергии за счет обучения машинистов, имевших по итогам анализа неудовлетворительные результаты, методам энергоэффективного ведения поезда; восстановления и настройки схем рекуперативного торможения в электротяге; интенсификации применения автоведения и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Черемисин, В.Т. Основные направления реализации Федерального Закона «Об энергосбережении...» №261-ФЗ от 23.11.09 в холдинге «Российские железные дороги» / В.Т. Черемисин, М.М. Никифоров // Изв. Транссиба: науч.-техн. журн. / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -2010. -№2(2). -С. 119-123.
- 2 Никифоров, М.М. Целевые показатели энергосбережения и повышения энергетической эффективности системы тягового электроснабжения и электропотребления на нетяговые нужды / М.М. Никифоров // Изв. Транссиба: науч.-техн. журн. / Омск. гос. ун-т путей сообщения. -2010. -№3(3). -С. 110-116.
- 3 Методические указания по проведению энергетического обследования объектов ОАО «РЖД». Т.3. Инструктивно-методические указания / под общ. ред. В.Т. Черемисина; Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2011.
- 4 Давыдов, А.И. Особенности энергетического обследования электрической тяги поездов / А.И. Давыдов, М.М. Никифоров // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 303-306.
- 5 Энергетическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2010 года и на перспективу до 2030 года: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 11 февр. 2008 г. №269р.
- 6 Перечень типовых мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности для различных категорий потребителей топливно-энергетических ресурсов в ОАО «РЖД»: утв. распоряжением ОАО «РЖД» от 31 марта 2011 г. №685р.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: анализ, индикаторы, мониторинг, тяга поездов, энергоэффективность, энергопотребление, удельный расход энергии
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Давыдов Алексей Игоревич, канд.техн.наук, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Никифоров Михаил Михайлович, канд.техн.наук, начальник лаборатории ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ СЛУЖБЫ ПУТИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Т.А. Лунина, А.А. Прудников

MODELING OF BUSINESS PROCESSES AS A METHOD OF EFFICIENCY GROWTH OF THE PRODUCTIVE RESOURCES USE IN THE TRACK MAINTENANCE DIVISION

Siberian state transport university
T.A. Lunina, A.A. Prudnikov

Visualization of business processes for the track current maintenance involves a particular approach to formalization of information on the business activity and enables to determine the ideal characteristics for evaluation of the effectiveness of the productive resources use in the Track Maintenance Divisions.

Keywords: business process, track current maintenance, efficiency, optimization

Визуализация бизнес-процессов для организации текущего содержания пути предполагает определенный подход к формализации информации о деятельности организации и позволяет определять идеальные характеристики, позволяющие оценить эффективность использования производственных ресурсов дистанций пути.

Чтобы обеспечивать условия эффективного и целенаправленного использования ресурсов предприятия в процессах производства товара или, как на железнодорожном транспорте, оказания услуги, осуществления хозяйственной деятельности, необходимо изучать бизнес-процессы, протекающие на уровне его структурных подразделений [1]. Бизнес-процессы связывают все стороны деятельности предприятий и организаций, и, управляя ими, совершенствуя их, можно, в конечном итоге, достичь поставленных целей. При этом бизнес-процесс следует рассматривать как поток различных видов деятельности, перетекающий из одного структурного подразделения к другому, и связывающий их в едином производственном процессе.

Объектом исследования является служба пути дирекции инфраструктуры, имеющая в подчинении 28 структурных подразделений – дистанций пути (ПЧ). Основными функциями дистанций, являются текущее содержание и ремонт верхнего строения пути, проверка качества выполненного капитального и среднего ремонта пути, а так же содержание полосы отвода.

Основной целью данного исследования, является определенный подход к систематизации информации о деятельности организации и представление ее в виде графических моделей. При этом предполагается решить следующие задачи:

- 1 Ускорить процесс принятия управленческих решений;
- 2 Определять в ходе функционирования бизнес-процессов слабые элементы и совершенствовать их;
- 3 Упростить восприятие бизнес-процесса при помощи визуализации.

При принятии управленческих решений нужно исходить из того, что для достижения общих целей организации необходимо рассматривать ее как единую систему. При этом следует выявить и оценить взаимодействие всех ее частей и объединить их на такой основе, которая позволит организации в целом эффективно достичь ее целей. Предприятие можно рассматривать как бизнес-систему, состоящую из самостоятельных бизнес-процессов, необходимых для разработки, производства и реализации какого-либо конкретного вида продукции.

Управление предприятием, основанное на системном подходе должно опираться на науку и искусство управления, объединив их в единый бизнес-процесс управления. В результате этого процесса появляется качественно новая организация, способная участвовать в едином бизнес-процессе внутри хозяйствующего субъекта. Применение системы процессов в рамках организации совместно с идентификацией и взаимодействием этих процессов, а также управления ими, может быть представлено как «процессный подход» [2].

Процессы организации разделены на три основных типа по характеру деятельности и создаваемому продукту:

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

1 процессы управления;

2 основные процессы;

3 обеспечивающие (вспомогательные) процессы.

На рисунке 1 приведена классификация процессов предприятий путевого хозяйства.

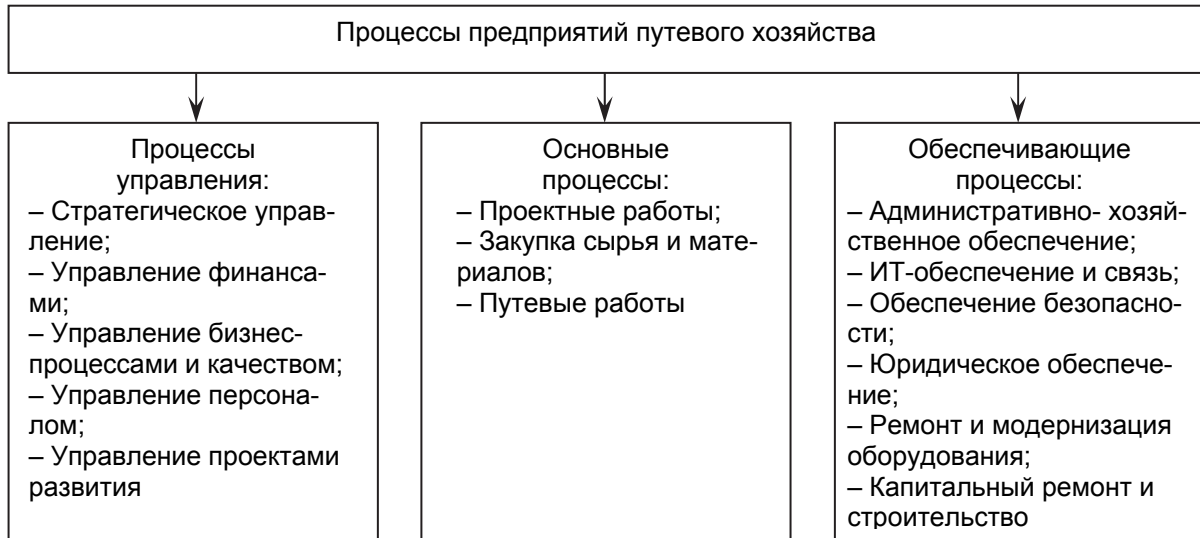


Рисунок 1 – Классификация процессов предприятий путевого хозяйства

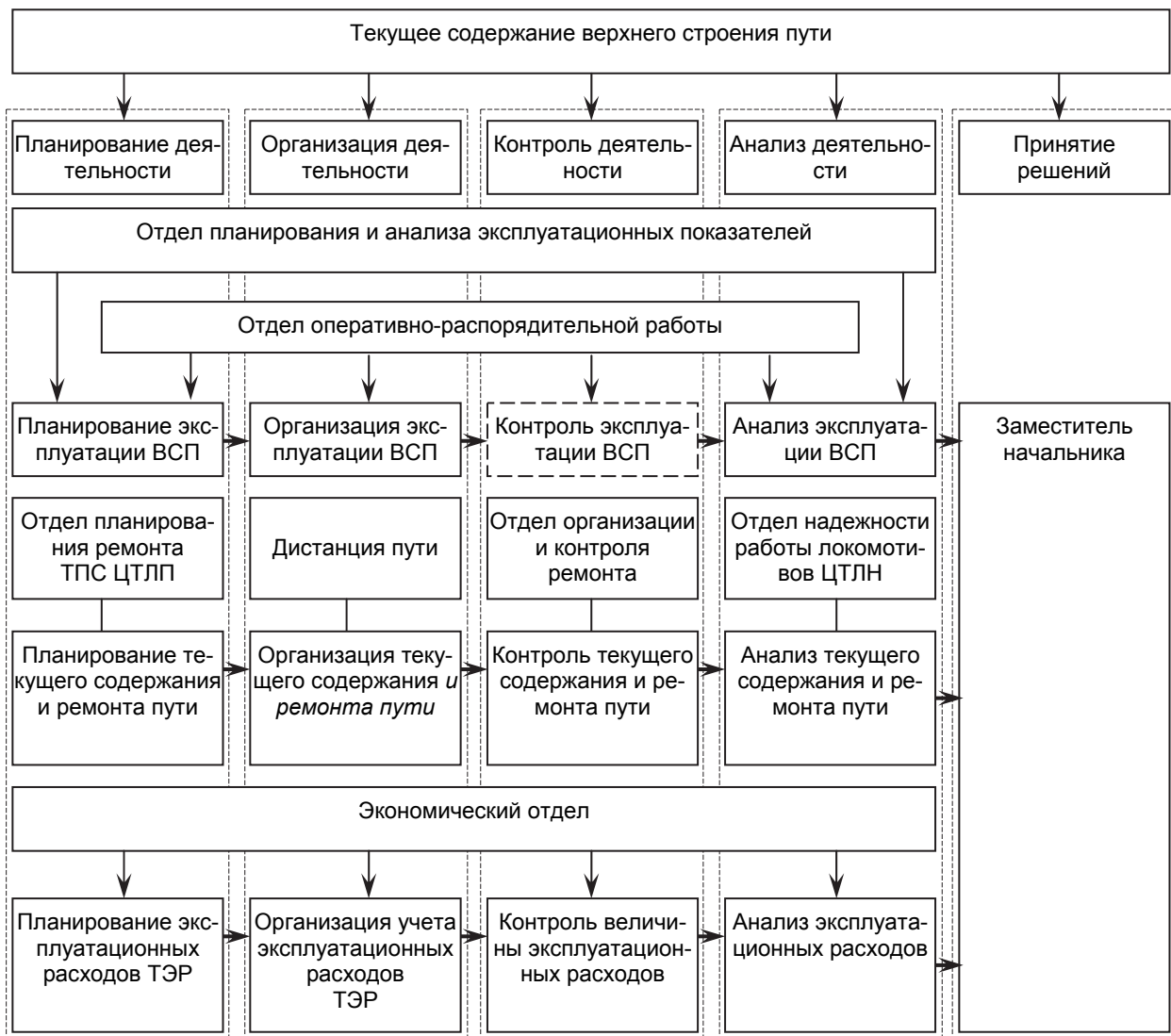


Рисунок 2 – Процессы основной деятельности службы пути по функциям управления

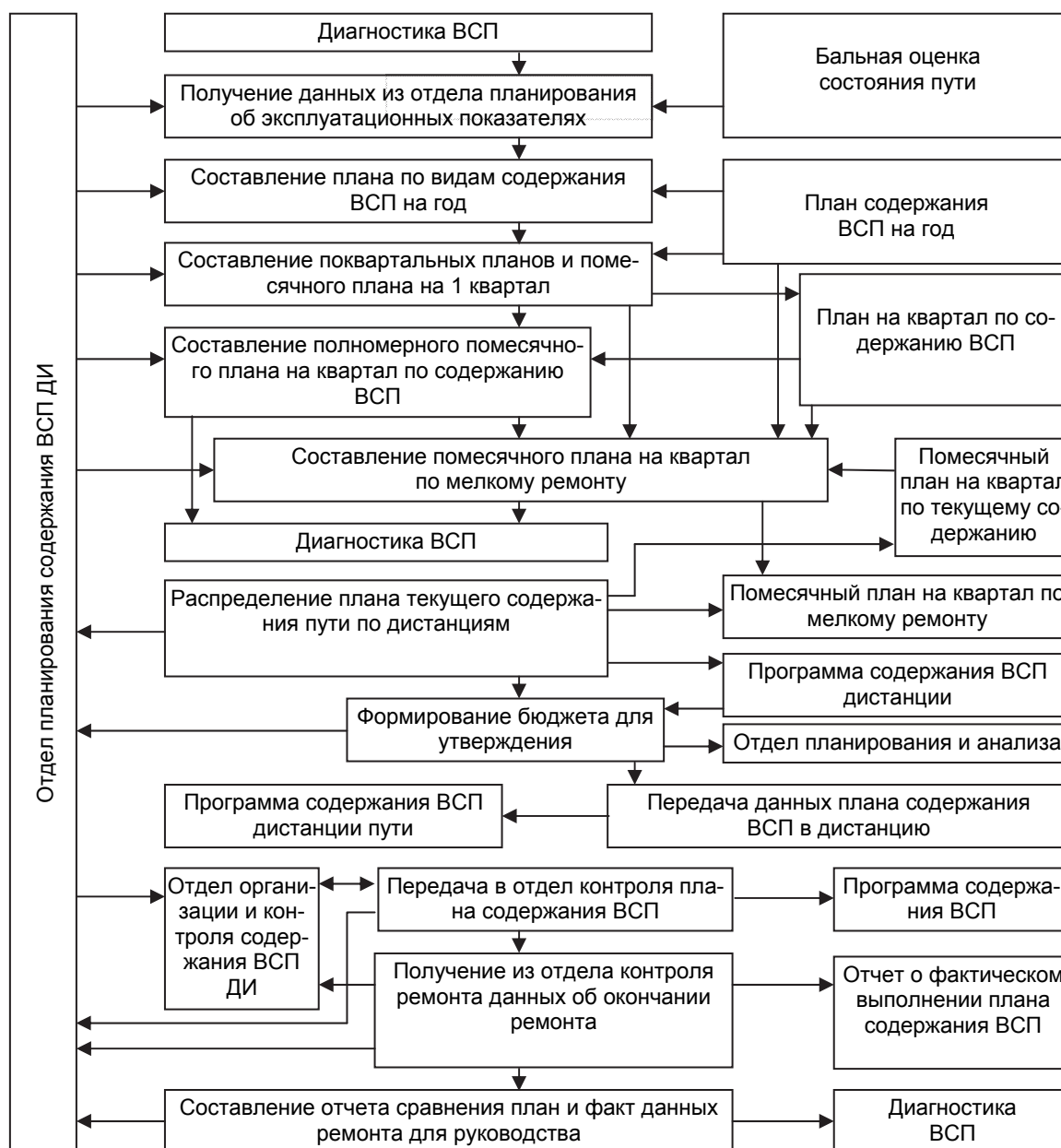


Рисунок 3 – Система организации текущего содержания верхнего строения пути

К основным процессам относятся услуги, приносящие ценность клиенту. К обеспечивающим процессам относятся услуги, добавляющие стоимость и позволяющие более эффективно выполнять операции.

Определив, какие типы процессов нужны для организации, можно перейти к выделению этих процессов и построению системы управления ими. В качестве, основных, принимаются производственные. Выбор объясняется тем, что именно данный вид бизнес-процессов оказывает наибольшее влияние на эффективность работы и формирует финансовый результат структурного подразделения, службы пути и, в итоге, Дирекции инфраструктуры.

Для анализа был выделен процесс управления текущим содержанием и ремонтом верхнего строения пути. Следует отметить, что на практике необходимо рассматривать каждый процесс отдельно по элементам, оценить эффективность каждого из них, проследить взаимосвязь показателей оценки всех сторон деятельности путевого хозяйства и определить комплексный или интегральный показатель.

Процессы текущего содержания пути сгруппированы по функциям управления:

- планирование деятельности;
- организация деятельности;
- контроль;
- анализ результатов;
- принятие решений.

Структура объектов управления основной деятельности путевого хозяйства по текущему содержанию пути представлена на рисунке 2.

За выполнение отдельных функций несут ответственность определенные руководители с распределением ресурсов и полномочий.

Моделирование бизнес-процессов и их визуализация для организации текущего содержания пути предполагает определенный подход к формализации информации о деятельности организации и позволяет определять идеальные характеристики, позволяющие оценить эффективность использования производственных ресурсов дистанций пути.

Диаграмма «Система организации текущего содержания пути», представлена на рисунке 3, описывает процесс планирования, наступления срока текущего содержания верхнего строения пути до организации и контроля, а также оценки его надежности в эксплуатации.

Таким образом, сформированная группа моделей бизнес-процессов службы пути, может использоваться для дальнейшего анализа и оценки интегрального эффекта работы путевого хозяйства.

Для оптимизации работы путевого хозяйства предлагается применять графоаналитическое представление производственных бизнес-процессов, которое:

- позволяет оперативно принимать управленческие решения;
- в процессе функционирования позволяет выявлять слабые элементы системы и совершенствовать их;
- помогает оперативно находить ошибки в системе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 На инфраструктуре нельзя экономить, если мы хотим создавать точки экономического роста: [беседа В.И. Якунина с гл. ред. «Гудка» А. Ретюниным] // Гудок. -2010. -22 июля (№127).

2 Репин, В.В. Бизнес-процессы компании. Построение, анализ, регламентация / В.В. Репин. -М.: Стандарты и качество, 2007. -238 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *бизнес-процесс, текущее содержания пути, эффективность, оптимизация*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Лунина Татьяна Аркадьевна, канд.экон.наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

Прудников Алексей Александрович, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ВЫБОР СПОСОБА РАБОТЫ ТУПИКОВОГО УЧАСТКА ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ В РАБОТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.В. Дмитренко, В.Л. Перепельцев

SELECTING A METHOD TO WORK DEADLOCK PLOT UNEVENNESS THE CONDITIONS IN THE TRUNK LINES

Siberian state transport university

A.V. Dmitrenko, V.L. Perepeltsev

Consider the nature of the deadlock lines and pass them on various categories of trains. The effect of the passing of trains in a deadlock work of a rational adjacent trunk line.

Keywords: railway, deadlock, train, service work, transport, plot, sea port, highway

Рассмотрен характер работы тупиковых линий и пропуска по ним различных категорий поездов. Установлено влияние пропуска поездов в тупике на рациональную работу прилегающих магистральных железнодорожных линий.

На экономическую деятельность железнодорожного транспорта может оказать влияние характер эксплуатационной работы тупиковых линий. Хотя тупиковые линии составляют в общей протяженности сети железных дорог малые размеры движения, однако характер их работы и рациональный пропуск поездов может оказать влияние в целом на улучшение эксплуатационной работы прилегающих магистральных линий.

В ранее изложенной научной литературе оптимальные варианты пропуска поездов и организации вагонопотоков изложены для конкретных тупиковых железнодорожных линий [1, 2]. В этих научных работах излагается порядок пропуска поездов по изолированным тупиковым участкам. При этом в основном учитывается, что поезда без задержек принимаются конечными пунктами назначения, а на перегонах тупиковых линий следуют поезда большого

веса или длины, в том числе и длинносоставные или даже тяжеловесные [1, 4, 5].

В то же время, на железнодорожном транспорте имеют место ограничения в пропускной способности магистральных дорог. На однопутных линиях имеют место задержки грузовых поездов под скрещением. На двухпутных магистралях имеют место длительные задержки составов поездов, вызванные выделением в графике движения «окон» по капитальному ремонту пути. Особенно большие задержки поездов имеют место перед конечными пунктами назначения. Наиболее длительные простои составов грузовых поездов имеют место в случае несвоевременной выгрузки вагонов речными и морскими портами, что вызывает значительный рост затрат. В свою очередь, внедрением специальной технологии пропуска грузовых поездов по однопутным железнодорожным линиям возможно в значительной степени влиять на характер эксплуатационной работы прилегающих магистральных дорог. Рациональными приемами пропуска поездов по однопутным участкам, возможно, уменьшить степень неравномерности в движении поездов и сократить их задержки из-за неприема, как конечными пунктами назначения, так и в целом во всем пути следования. В случае улучшения эксплуатационной работы станций и участков создается возможность сократить крупные капитальные затраты в усиление технического оснащения сети железных дорог страны.

Для оценки влияния характера эксплуатационной работы станций и участков была разработана технология пропуска поездов по перегонам в зависимости от различных условий эксплуатации, как основных магистралей, так и наличие вагонного парка станций. В практической деятельности железнодорожного транспорта имеются условия: имеются средние условия эксплуатации линии, на магистрали появляется или повышенный парк вагонов, или имеется спад в движении поездов.

Для нормальных условий эксплуатации в случае устойчивого пропуска поездов обеспечивается одинаковый подход к проблеме пропуска поездов четного и нечетного направлений. Здесь прибывший раньше поезд простаивает под скрещением более длительное время, а позднее поступающий состав грузового поезда обычно пропускается без задержек.

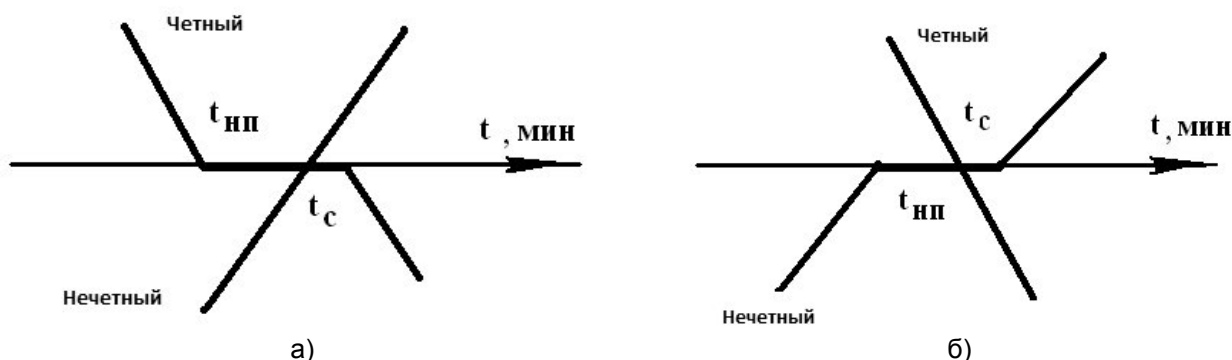


Рисунок 1 – Порядок следования по станции грузовых поездов в случае их неодновременного поступления для скрещеня: а) первым прибывает четный поезд для стоянки и пропуска поезда встречного направления; б) первым для стоянки прибывает нечетный поезд для безостановочного пропуска поезда встречного направления; $t_{нп}$ -интервал неодновременного прибытия; $t_{с}$ -интервал скрещеня

Вышеуказанный порядок пропуска поездов и их стоянок под скрещением используется для установления, как простоя, так и суммарного времени их хода по участку.

В то же время, на магистрали, в том числе и для узловых пунктов имеют место частые задержки составов грузовых поездов и вагонов из-за неприема, в первую очередь из-за повышенного парка вагонов и временного отсутствия локомотивов с локомотивными бригадами. В этом случае необходимо осуществлять преимущество в отправлении вагонов с узловых станций в тупик. Такой порядок позволит в быстрые сроки освободить узловые пункты с повышенным парком вагонов и в последующем обеспечивать беспрепятственный прием поездов на узловой пункт.

Для тупиковых линий на рациональные параметры работы участков оказывает неравенство в размерах движения по перегонам. Неравное количество вагонов по перегонам оказывает влияние, как на оптимальный вес грузовых поездов, так и на размеры движения по отдельным перегонам.

Так, согласно рационального ведения экономической и хозяйственной деятельности многих частей страны, для каждой из областей отдельные грузы, где имеется их избыток,

везут в области, в том числе и за границу, где имеется их недостаток. При этом тупиковые линии обычно сооружаются для организации в целом вывоза зарождающихся грузов за пределы своего района.

Поэтому погрузка на станциях тупикового участка небольшой протяженности осуществляется в целом для отправления грузов на магистральную линию. В то же время, на станции тупика прибывают грузы и в большом количестве вагоны под погрузку. При этом подавляющая часть погруженных вагонов затем оправляется на выход на магистраль. Поэтому по каждой станции тупика, прибывшие вагоны обычно возвращаются обратно и не следуют далее в тупик. Исходя из этого, размеры движения для тупиковых линий имеют наибольшую величину на перегонах, примыкающих непосредственно к узловой станции. По мере удаления в тупик размеры движения поездов сокращаются.

Поэтому по тупиковой железнодорожной линии только часть составов грузовых поездов следует до конечной станции. Большая доля грузовых поездов следует на короткое расстояние и возвращается обратно с части участка.

С целью обеспечения устойчивости в работе тупиковых линий необходимо осуществлять рациональную очередность в пропуске вагонов и поездов в зависимости от дальности следования поездов до станций тупика, а также с учетом необходимости выполнения погрузки и выгрузки на станциях преимущественно днем.

При выполнении каждой технологической операции простой вагонов значительно возрастает с увеличением веса грузовых поездов или количества вагонов в прибывающих составах.

Следует также учитывать, что на малых промежуточных станциях и грузовых пунктах, расположенных преимущественно в сельской местности, погрузка и выгрузка вагонов в большей части осуществляется днем. В то же время, движение грузовых поездов по железнодорожным линиям организуется в течение всего периода суток.

В организации движения поездов по тупику следует учитывать малое количество путей по промежуточным станциям участка. При этом для обеспечения беспрепятственного приема поездов необходимо иметь свободные пути на станциях, чтобы обеспечивать беспрепятственный прием поездов на конечную станцию или осуществлять на них скрещение составов грузовых поездов. Для этого необходимо устанавливать преимущество в очередности пропуска поездов, сформированных с учетом дальности их следования в нормальных условиях эксплуатации при наличии повышенного парка вагонов на станциях тупика.

При этом следует учесть, что короткие тупиковые линии обычно имеют тепловозную тягу. На коротких расстояниях целесообразно иметь малые весовые нормы составов грузовых поездов, чтобы сократить простой вагонов по станциям.

Оптимальный вариант подачи порожних вагонов под погрузку на станции тупика будет устанавливаться для двух вариантов:

– В первом варианте в начале суток порожние вагоны будут преимущественно подаваться на ближние станции.

– Во втором варианте порожние вагоны будут вначале преимущественно подаваться на конечные станции тупика.

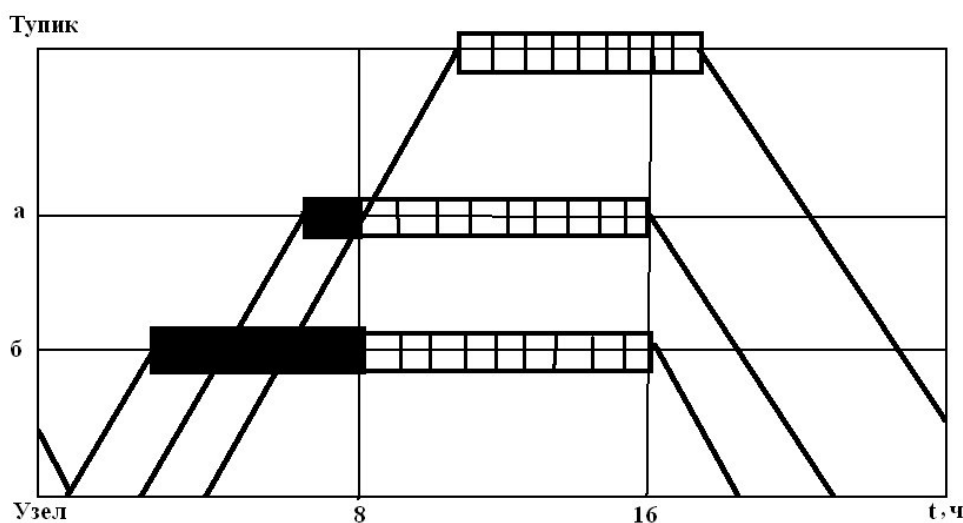


Рисунок 2 – Схема пропуска неравных размеров движения в тупике: закрашенные клетки-ожидание выполнения грузовых операций; незакрашенные клетки-выполнения грузовых операций

Подача в начале порожних вагонов на ближние станции вызовет значительный их простой в ожидании погрузки, так как грузовые пункты работают только днем рисунок 2.

Подача вагонов вначале на дальние станции вызовет резкое сокращение простоя вагонов в ожидании погрузки, следовательно, для достижения лучших результатов необходимо порожние вагоны на станции погрузки подавать к утру.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Дмитренко, А.В. Как развивать железнодорожный транспорт на перспективу / А.В. Дмитренко // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование / Иркут. гос. ун-т путей сообщения. -2010. -№1(25). -С. 229-240.
- 2 Перспективы развития транспорта при переходе к рынку / Н.Е. Аксененко, А.В. Дмитренко, А.И. Милованов, В.Н. Позде-ев // Ж.-д. трансп. -1993. -№2. -С. 37-42.
- 3 Грунтов, П.С. Управление эксплуатационной работой и качеством перевозок на железнодорожном транспорте / П.С. Грунтов, Ю.В. Дьяков, А.М. Макарошкин. -М.: Транспорт, 1994. -544 с.
- 4 Лемешко, В.Г. О переходе на технологию организации движения грузовых поездов по расписанию / В.Г. Лемешко, В.А. Шаров // Ж.-д. трансп. -2010. -№11. -С. 12-20.
- 5 Макарошкин, А.М. Использование и развитие пропускной способности железных дорог / А.М. Макарошкин, Ю.В. Дьяков. -М.: Транспорт, 1981. -287 с.
- 6 Прошкина, Е.С. Железные дороги США: состояние, показатели работы, перевозочный потенциал / Е.С. Прошкина, Ф.С. Курбатов // Вестн. трансп. -2010. -№12. -С. 29-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *железная дорога, тупик, поезд, эксплуатационная работа, транспорт, участок, морской порт, магистраль*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Дмитренко Алексей Васильевич, докт.техн.наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Перепельцев Вячеслав Леонардович, студент, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
Тобольский филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ЗАО «Центр энергетических исследований»

**Ю.В. Дёмин, Д.С. Скотников, А.С. Герасименко, С.В. Ивашкин, Г.В. Иванов,
А.И. Мозилов, Н.А. Сычева**

PROCESSES OF CORROSION IN FERRO-CONCRETE DESIGNS
Novosibirsk state academy of water transport
Novosibirsk state academy of water transport, Tobolsk branch
Center for energy research
Yu.V. Demin, D.S. Skotnikov, A.S. Gerasimenko, S.V. Ivashkin, G.V. Ivanov, A.I. Mozilov, N.A. Sycheva

Article is devoted to the analysis of the reasons of corrosion of ferroconcrete designs and definition of zones of their physical corrosion.

Keywords: corrosion, service life, concrete, maps, designs

Выполнен анализ причин коррозии железобетонных конструкций и определению зон их физической коррозии.

Железобетонные электросетевые конструкции (ЖБ ЭК) эксплуатируются в различных грунтово-климатических условиях. Это приводит к воздействию на них различных видов коррозии. В эксплуатации отмечены случаи неравномерного разрушения ЖБ ЭК как по высоте, так и по глубине опор и фундаментов. В связи с этим целесообразно исследовать процессы коррозии и определить зоны наиболее интенсивного разрушения конструкции.

Анализ причин коррозии железобетонных конструкций в агрессивных грунтово-климатических условиях. С большой вероятностью априори можно утверждать, что причины малого срока службы железобетонных электросетевых конструкций заключаются в отсутствии учёта внешних грунтово-климатических условий. Внутренние же особенности ЖБ ЭК определяют в основном скорость возможного коррозионного процесса. Известно, например, что чем плотнее бетон и чем толще защитный слой бетона над арматурой, тем он более устойчив к коррозионному разрушению.

При отсутствии механических повреждений защитного слоя бетона коррозия арматуры не может начаться благодаря высокой щелочности порового раствора бетона ($pH=10-12$). Согласно диаграмме Пурбе для стали (рисунок 1), определяющей термодинамическую возможность ее растворения, коррозия арматуры возможна при $pH \leq 8$ и электрическом потенциале в бетоне выше (-)0,6 В. Это свидетельствует о том, что деструктивные процессы в бетоне должны начаться раньше, чем будет происходить коррозия арматуры [1]. Промежуток

времени, разделяющий эти процессы, зависит от степени агрессивных условий, в которые помещена ЖБ ЭК.

Коррозия бетона, в отличие от коррозии металла, носит объемный, а не поверхностный характер. Это обусловлено пористой структурой бетона. Благодаря такой структуре бетон способен впитывать в себя грунтовый раствор, движение которого по порам обусловлено капиллярными явлениями. Высоту капиллярного поднятия жидкости среды, при отсутствии других внешних воздействий, ориентировочно можно рассчитать по формуле Жюрена

$$h = 2 \frac{\sigma_{12}}{\gamma q (\rho_1 - \rho_2)}, \quad (1)$$

где ρ_1, ρ_2 – плотность жидкости и газа;

q – ускорение свободного падения;

σ_{12} – поверхностное натяжение на границе «жидкость-газ»;

γ – кривизна поверхности жидкости.

По формуле (1) для стационарных условий можно примерно оценить объем бетона подверженного агрессивному воздействию среды, то есть определить возможную зону коррозионного разрушения.

Реальное значение величины h для открытой атмосферы не может быть больше 10 м (для чистой воды) и зависит от скорости испарения и средних значений параметров: $\gamma = 5 \cdot 10^{-6}$ м; $q = 9,8$ м/с²; $\rho_1 = 10^3$ кг/м³; $\rho_2 = 0$; $\sigma_{12} = 70 \cdot 10^{-3}$ Дж/м²; величина $h = 2,86$ м.

Учитывая наличие процесса испарения влаги с поверхности ЖБК, истинное значение h будет несколько ниже. Этот вывод подтверждается данными исследований Института «Энергосетьпроект», которые указывают зону активных коррозионных разрушений бетона 2,5-3,0 м.

При равномерных физико-химических условиях среды вокруг бетона процесс коррозии возможен по одному из трех видов в зависимости от конкретных параметров среды: выщелачивание, переход в растворимые или не обладающие вяжущими свойствами соединения и внутреннее объемное набухание, вызывающее разрыв или раскол защитного слоя бетона.

Кинетика этих видов коррозии, благодаря их объемному характеру, будет определяться стадиями подвода и отвода продуктов химических реакций, либо одной из них (например, скорость коррозии 3-го вида определяется только стадией подвода реагента). Поэтому любое воздействие, облегчающее эти стадии, может резко увеличить скорость коррозионного процесса бетона.

Для многих районов Средней Азии, например, Туркменистана, помимо резкой континентальности климата, содержание сернокислых солей в грунтах, например, в районе Небит-Дага концентрация солей (NaCl) составляет более 1,5%. Концентрация сернокислых солей (Na₂SO₄) аналогична и составляет 1,5%. Это свидетельствует о возможности коррозии ЖБ ЭК всех видов. Значительные градиенты температуры вдоль ЖБ ЭК (около 90 °С) и резкие изменения температуры в течение суток создают благоприятные условия для протекания 3-го, наиболее опасного вида физической коррозии. Данный коррозионный процесс характерен для района с сухим жарким климатом и засоленными грунтами (Средняя Азия, Казахстан). В качестве основной причины разрушения в данном случае считается увеличение объема солей при фазовом переходе от менее гидратированных форм к формам, содержащим большие количества кристаллизационной воды (таблица 1). Наиболее опасно для стойкости бетона не просто высыхание при температуре выше точки фазового перехода, а последующее увлажнение при понижении температуры (ниже точки фазового перехода) и образование кристаллогидрата с увеличением объема твердой фазы. Так, при образовании десятиводного кристаллогидрата Na₂SO₄·10H₂O (таблица 1). Объем, занимаемый солями, увеличивается более чем в три раза. В результате развиваются давления 10-20 МПа, вызывающие разрушения бетона даже высоких марок. Для сравнения, алогичные давления от химической коррозии на порядок ниже [2].

Срок службы ЭК, работающих в условиях воздействия физической коррозии, невелик и составляет 7-10 лет.

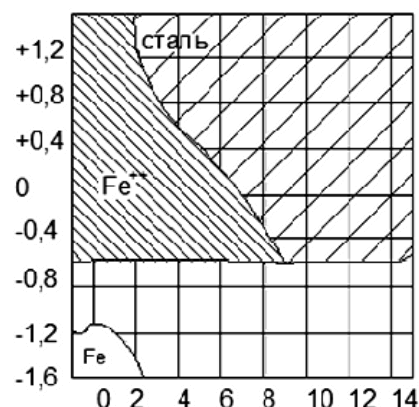


Рисунок 1 – Диаграмма Пурбэ для стали

Таблица 1 – Увеличение объема кристаллогидратов по А.И. Минасу [2]

| Исходная соль | Кристаллогидрат | Температура фазового перехода, °С | Увеличение объема, % |
|--------------------------------------|---|-----------------------------------|----------------------|
| NaCl | NaCl·2H ₂ O | 0,15 | 130 |
| Na ₂ SO ₄ | Na ₂ SO ₄ ·10H ₂ O | 32,3 | 331 |
| Na ₂ CO ₃ | Na ₂ CO ₃ ·10H ₂ O | 33,0 | 148 |
| MgSO ₄ ·6H ₂ O | MgSO ₄ ·7H ₂ O | 47,0 | 11 |
| MgSO ₄ ·H ₂ O | MgSO ₄ ·6H ₂ O | 73,0 | 145 |

Стойкость материалов к воздействию этого вида коррозии определяется коэффициентом P_{sfk} (показатель стойкости к физической коррозии)

$$P_{sfk} = \frac{1 - V_{зп}}{V_{оп} \sqrt{E}} \left(1 + 2 \frac{V_{зп}}{V_{оп}} \right), \quad (2)$$

где $V_{зп}$ – закрытая пористость;

$V_{оп}$ – открытая пористость;

E – модуль упругости;

Материал стоек к физической коррозии, если $P_{sfk} \geq 0,9$. Так, например, бетон выпускаемый УПТК треста «Туркменсельэлектрострой» (г. Безменин, Туркменистан) имеет $P_{sfk} = 0,6-0,75$ и, следовательно, не стоек к воздействию физической коррозии в агрессивных грунтово-климатических условиях.

Целесообразно определить зону действия физической коррозии для ЖБЭК.

Определение зон физической коррозии железобетонных электросетевых конструкций. Анализ статистики железобетонных опор ВЛ 0,4-10 кВ показывает, что разрушение их по высоте конструкции неравномерно. Наибольшим разрушением подвергается переходная зона ЖБ стоек в месте выхода их из грунта (рисунок 2).

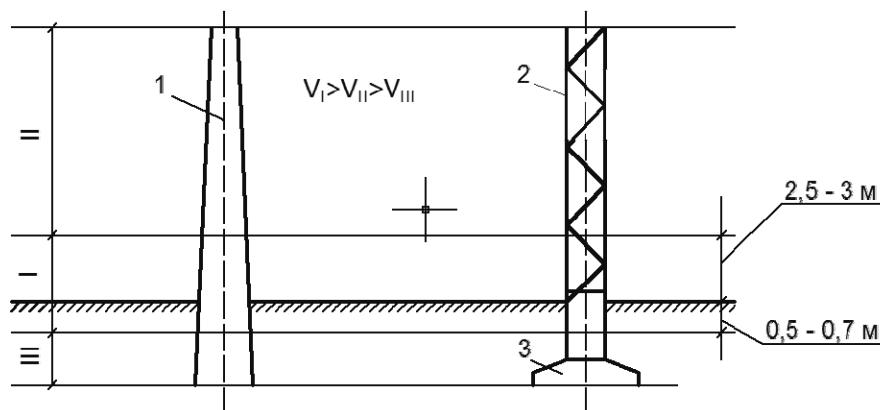


Рисунок 2 – Зоны коррозии железобетонных конструкций ВЛ и подстанций: 1-железобетонная опора; 2-металлическая опора; 3-фундамент; I-сильная степень коррозии; II-средняя степень коррозии; III-слабая степень коррозии

Рассчитаем зону эффективного воздействия физической коррозии. При этом будем исходить из следующего. Для того чтобы образовывались высокогидратные соединения, необходимо одновременное выполнение трех условий:

- наличие солей на поверхности;
- наличие достаточного количества влаги для проникания агрессивного раствора в тело бетона;
- наличие достаточной температуры поверхности бетона.

Первое условие выполняется по всей длине опоры: в подземной части из-за наличия солей в грунте, в наземной части – вследствие соленой пыли и высотой капиллярного поднятия жидкости, определяемой по формуле (1).

Второе условие выполняется для всей подземной части и отчасти, для наземной и определяется частотой «росообразования» (рисунок 3).

Третье условие выполняется при наличии достаточной для образования высокогидратных соединений температуры, определяет подземную и наземную зону физической коррозии.

Расчитаем распределение температуры по длине опоры $T = f(\ell)$, а также зоны наземной и подземной физической коррозии.

ℓ_1 – наземная зона физической коррозии, $\ell_1 > 0,5$ м;

ℓ_2 – подземная зона физической коррозии $\ell_2 = \ell_T = T_{кр}$.

Величину найдем из решения дифференциального уравнения неустановившегося теплового потока

$$\frac{\partial T}{\partial t} = T_t^r \frac{\partial^2 T}{\partial \ell^2}, \quad (3)$$

где T – температура;

t – время;

ℓ – координата (глубина);

T_t^r – температуропроводность грунта.

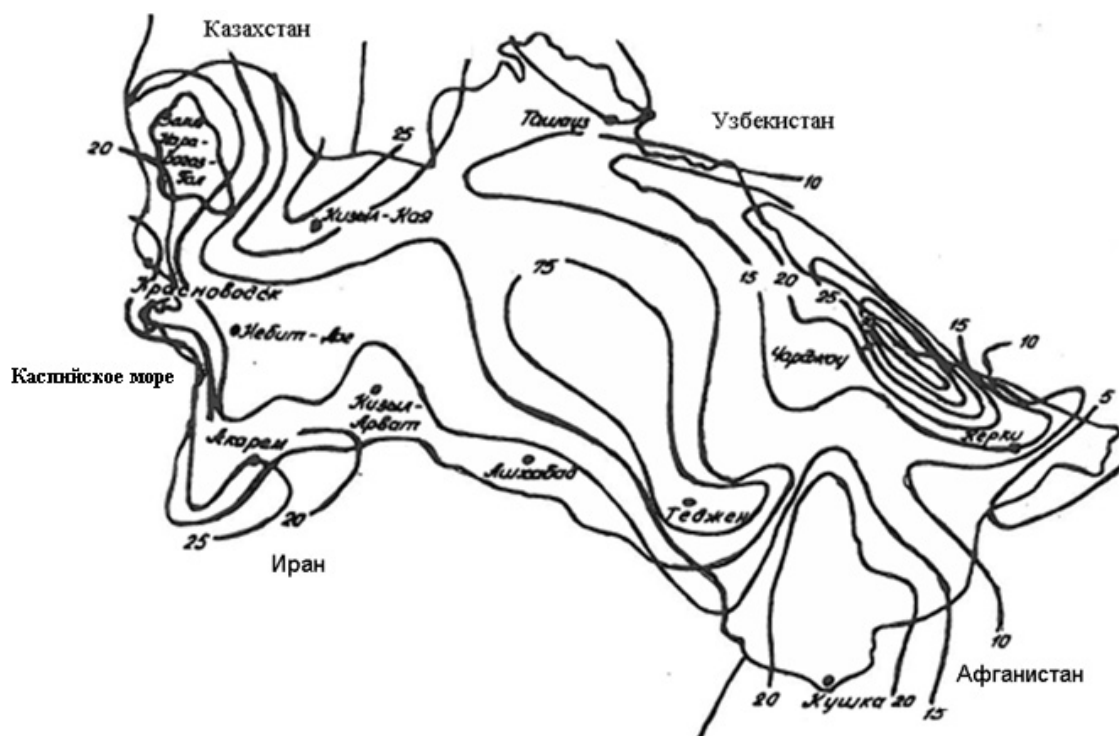


Рисунок 3 – Карта распределения относительного среднегодового числа дней с росой

При определенных допущениях можно показать, что распределение температуры в подземной части заземлителя подчиняется по зависимости

$$T(\ell, t) = T_{cp} + \frac{A_0}{\sqrt{\ell}} \sin\left(\omega t - \frac{\ell}{d}\right), \quad (4)$$

где T_{cp} – средняя температура поверхности грунта;

A_0 – амплитуда колебания температуры на поверхности грунта;

ω – радиальная частота, $\omega = 2\pi/24 = \pi/12$ ч⁻¹.

После разложения в ряд функции ℓ_1/d и $\sin(\omega t - \ell/d)$ и соответствующих упрощений, можно найти глубину проникания в грунт критической температуры. В качестве $T_{кр}$ принимаем температуру 32,3 °С, тогда

$$\ell_2 = T_t^r (10,8 + 7,3a), \quad (5)$$

где a – коэффициент относительного превышения среднесуточной температуры поверхности грунта температуры 32,3 °С

$$a = \frac{32,3 T_{cp}}{A_0}.$$

Таким образом, мы определили границы физической коррозии железобетонных электросетевых конструкций:

– верхняя граница зоны физической коррозии определяется по формуле (1) и зависит от высоты капиллярного поднятия грунтового раствора в теле бетона и не менее 0,5 м от поверхности грунта для районов с обильным росообразованием и должна быть уточнена в зависимости от свойств бетона и грунтово-климатических условий;

– нижняя граница определяется по зависимости (5) и неодинакова для различных грунтов (коэффициент T^r) и климатических условий.

Исследуя процессы коррозии ЖБ ЭК в наиболее агрессивных условиях, установлено, что наибольшую опасность для конструкций представляет физическая коррозия. Она наиболее опасна в регионах СНГ так как ЖБ ЭК там часто эксплуатируются в условиях засоленных и обводненных грунтов, а также температуры более 32,3 °С (точка фазового перехода, при которой объем кристаллогидратов по А.И. Минасу [2], например $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ увеличивается на 311%). В результате развиваются давления, превышающие прочность бетона, разрушающие его.

Предложена методика определения зоны физической коррозии для ЖБ ЭК. Нижняя граница зоны физической коррозии определилась по глубине проникновения в грунт изотермы +32,3 °С и зависит от температуропроводности грунта T_t^r и климатических условий (широты местности).

Верхняя граница зоны физической коррозии определяется высотой росообразования и уточняется по картам росообразования для каждого района.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Эванс, Ю.Р. Коррозия и окисление металлов / Ю.Р. Эванс. -М.: Машгиз, 1962. -500 с.
- 2 Минас, А.И. К вопросу о механизме корродирования строительных материалов солями и щелочами / А.И. Минас // Доклады на Всесоюзном научно-техническом совещании по солевой коррозии. -Минск., 1965. -С. 38-42.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: коррозия, срок службы, железобетон, карты, конструкции

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Скотников Дмитрий Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, зам. генерального директора ЗАО «ЦЭИ»

Сычева Наталья Александровна, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

626152, Тюменская область, г.Тобольск, ул.Ремезова, 72а, Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

630049, г.Новосибирск, ул.Красный проспект, 163/2, оф.404, ЗАО «ЦЭИ»

ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Д.А. Аношенко

ESTIMATING OF BEARING CAPACITY OF TUNNEL LINING CONSIDERING THE CHANGES IN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL

Siberian state transport university

D.A. Anoshenko

The article is devoted to the justification of the need for and development of a method to estimate the impacts of hollows on the bearing capacity of tunnel lining. Using the calculating method of the lining with the random distribution of hollows behind the lining allows the extent of their influence for improving the reliability and durability of tunnel construction.

Keywords: tunnel lining, behind lining hollows, mathematical modeling, carrying capacity, statistical estimation

Выполнено обоснование необходимости и разработки методики количественной оценки влияния пустот на несущую способность тоннельных обделок. Использование методики расчета обделки с учетом случайного распределения пустот за обделкой позволит оценить степень их влияния, повысить надежность и долговечность тоннельных конструкций.

Опыт и практика мирового тоннелестроения со всей очевидностью показали отрицательное воздействие заобделочных пустот на надежность и долговечность тоннелей. Стало правилом, что любая технология сооружения тоннелей в обязательном порядке должна предусматривать средства ликвидации пустот. В проходческом цикле должен быть процесс нагнетания цементно-песчаного раствора или иного материала за обделку [1-7].

Несмотря на все предпринимаемые меры, на стадии строительства, не всегда удается

достигнуть полного контакта обделки с грунтом, а в эксплуатационный период, из-за воздействия ряда физико-химических процессов происходит разуплотнение грунтов и в некоторых случаях появляются и развиваются пустоты. Несмотря на все предпринимаемые меры по борьбе с заобделочными пустотами, стал очевидным тот факт, что пустоты за обделками имеются в любом случае. Природа таких пустот также как и их конфигурация может быть различной.

При всем этом, в СП 122.13330.2012 «Тоннели железнодорожные и автодорожные» статический расчет обделки рекомендуется выполнять в предположении безусловного контакта конструкции обделки с грунтовым массивом.

Таким образом, получается, что расчет тоннельных обделок в настоящее время не сопровождается количественной оценкой влияния пустот на несущую способность обделок вследствие отсутствия соответствующей расчетной методики. В результате получается, что несущая способность тоннельной обделки в некоторых случаях ниже своего расчетного значения.

Разработка методики расчета тоннельной обделки, с учетом такого сложного воздействующего фактора как наличия пустот и их случайного распределения за обделкой, позволяет повысить надежность и долговечность тоннельных конструкций, что и составляет актуальность данной работы.

Целью исследований является оценка реальной несущей способности тоннельных обделок путем установления влияния на них заобделочных пустот и разработка методик прочностного расчета при случайном расположении этих пустот за обделкой.

Современные детерминистические методы расчета тоннельных конструкций являются эффективным средством определения внутренних усилий во всех известных типах обделок с учетом большого числа факторов, влияющих на совместную работу обделки и грунта.

В то же время точность результатов (то есть степень приближения к действительным значениям рассчитываемых величин, возникающим в натуральных обделках) неопределенна и скрыта часто субъективными коэффициентами запаса. Это обусловлено недоучетом случайной природы ряда расчетных параметров и несоответствием расчетных схем реальным схемам статической работы тоннельных обделок.

В рамках данной работы разрабатывается методика расчета тоннельной обделки с учетом влияния заобделочных пустот.

Использование данной методики позволит определить реальную несущую способность тоннельной обделки еще на стадии проектирования. Кроме того, будут разработаны рекомендации по экспрессному (инженерному) методу определения несущей способности обделки с использованием карт обследования пустотности и по методу статического расчета по реальным характеристикам пустот.

Для решения поставленных задач применяется метод математического моделирования с использованием методики имитационного моделирования на ЭВМ. Учет случайных свойств заобделочных пустот проводится с использованием метода статистических испытаний (Монте-Карло) [8-10].

Следует заметить, что в различной литературе под «методом Монте-Карло» подразумеваются различные вещи. Так, например, исторически под методом Монте-Карло было принято понимать всю совокупность методов статистического моделирования. Будем называть такое понимание метода методом Монте-Карло «в общем». Кроме того, в теории вероятностного расчета строительных конструкций имеется специализированный метод того же названия. Его будем называть «частным» методом Монте-Карло. В данной работе под методом Монте-Карло подразумевается первое значение: «в общем».

Метод Монте-Карло позволяет моделировать любой процесс, на протекание которого влияют случайные факторы. Кроме того, для многих задач не связанных с какими-либо случайностями, можно придумать вероятностную модель, позволяющую решать эти задачи (метод рандомизации). Примечательно, что в некоторых случаях выгодно отказаться от моделирования истинного случайного процесса и вместо этого использовать искусственную модель.

Основная идея метода – связь между вероятностными характеристиками различных случайных процессов и величинами, являющимися решениями задач математического анализа. Вместо вычисления ряда сложных аналитических выражений можно экспериментально определить значение соответствующих вероятностей или математических ожиданий. Этот метод получил широкое распространение в связи с новыми возможностями, которые

дают ЭВМ. Необходимо отметить особенность метода, состоящую в том, что оценка погрешности вычислений носит вероятностный характер.

По существу, метод Монте-Карло представляет собой численный метод решения задач моделированием случайных величин, который реализуется с помощью ЭВМ. Практическая ценность метода заключается в том, что он позволяет по одной или нескольким ограниченными выборками получить вероятностные характеристики выходных параметров по вероятностным характеристикам входных без обращения к уравнениям связи. Иначе говоря, обеспечивает приближенное решение задач типа «черный ящик».

Для рассматриваемой задачи не существует таких уравнений, которые связали бы внутренние усилия в обделке с топологией расчетной схемы. И, несмотря на то, что объем необходимых вычислений по методу Монте-Карло остается высоким, он ни в кое сравнение не может быть сопоставлен с триллионами расчетов при полном переборе вариантов расчетных схем. Далее излагается порядок статистического решения:

– Первый этап. Разработка вероятностной модели изучаемого явления. Ею охвачены все возможные варианты расчетных схем задачи. Поэтому для задачи с заданными условиями и параметрами сумма всех вариантов расчетных схем составляет некоторую генеральную совокупность. В дальнейшем, будем ее называть просто совокупностью вариантов.

– Второй этап. Установление закона распределения случайной величины, являющейся входным параметром задачи.

– Третий этап. Составление выборки из общей совокупности и плана испытаний.

– Четвертый этап. Осуществление процедуры метода Монте-Карло на основе моделирования случайных чисел.

Пятый этап. Статистическая оценка итоговых результатов.

Имея статистическое описание искомых выходных параметров, нетрудно установить их нормативные значения, как выборочные средние и расчетные значения с заданной доверительной вероятностью по функции вероятностей (если существует аппроксимирующее теоретическое распределение) или по кумулятивной кривой выборочного распределения.

Реальные ситуации, отражающие состояние системы «обделка-грунтовый массив», крайне многообразны. Однако теория вероятностей и математическая статистика позволяет свести частные проявления этого состояния в типовые.

Разрабатываемые решения задач несущей способности тоннельной обделки при наличии заобделочных пустот будут сведены в расчетные случаи в зависимости от полноты имеющейся информации по исходным данным, и могут быть использованы в различной форме.

Практическая ценность работы заключается в создании методик вероятностного расчета несущей способности обделок с учетом влияния заобделочных пустот, а также в разработке практических рекомендаций по выбору расчетных схем в зависимости от инженерно-геологических и гидрогеологических условий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бабушкин, Н.Ф. Проблемы содержания и ремонта тоннельных сооружений Московского метрополитена / Н.Ф. Бабушкин // Метро. -1998. -№3/4. -С. 17-19.
- 2 Власов, С.Н. Аварийные ситуации при строительстве и эксплуатации транспортных тоннелей и метрополитенов / С.Н. Власов, Л.В. Маковский, В.Е. Меркин. -М.: ТИМР, 1997. -184 с.
- 3 Гарбер, В.А. Метрополитен. Долговечность тоннельных конструкций в условиях эксплуатации и городского строительства / В.А. Гарбер. -М.: ЦНИИС, 1998. -172 с.
- 4 Демешко, Е.А. Влияние наличия заобделочных пустот на безопасность движения поездов в тоннеле / Е.А. Демешко, В.К. Сергеев, О.А. Потапова // Тезисы докладов международного симпозиума /МИИТ. -М., 1995. -С. 46.
- 5 Демешко, Е.А. Применение теории вероятностей для статического расчета обделок тоннелей при наличии заобделочных пустот / Е.А. Демешко, В.К. Сергеев, О.А. Потапова // Доклады международного симпозиума / МИИТ. -М., 1996. -С. 51-57.
- 6 Демешко, Е.А. Расчет сводчатой тоннельной обделки с двумерным случайным расположением заобделочных пустот / Е.А. Демешко, В.К. Сергеев, О.А. Потапова // Актуальные проблемы развития железнодорожного транспорта : тез. докл. 2-й междунар. науч.-техн. конф. / МИИТ. -М., 1996. -С. 8.
- 7 Демешко, Е.А. Расчет обделки тоннеля с учетом двумерного вероятностного распределения заобделочных пустот / Е.А. Демешко, В.К. Сергеев, О.А. Потапова // Проблемы развития трансп. и инженер. коммуникаций. -1998. -№2. -С. 29-32.
- 8 Ермаков, С.М. Курс статистического моделирования / С.М. Ермаков, Г.А. Михайлов. -М.: Наука, 1976. -320 с.
- 9 Каган, А.Я. Применение метода Монте-Карло к вероятностному анализу элементов конструкций: автореф. дис. ... канд. техн. наук / А.Я. Каган. -М., 1974. -21 с.
- 10 Бусленко, Н.П. Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация в цифровых машинах / Н.П. Бусленко, Ю.А. Шрейдер. -М.: Физматгиз, 1961. -226 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тоннельная обделка, заобделочные пустоты, математическое моделирование, несущая способность, статистическая оценка*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Анощенко Дмитрий Александрович, научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЖИДАЕМОГО ЧИСЛА ЗАМЕН КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ В УСЛОВИЯХ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ

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

С.В. Четвериков, Д.Г. Налабордин, С.А. Горских

PROBABILISTIC MODEL OF THE EXPECTED NUMBER OF SUBSTITUTIONS WHEELSET COACHES IN TRANS-BAIKAL RAILWAY

Trans-Baikal institute of railway transport, branch Irkutsk state university of means of communication

S.V. Chetverikov, D.G. Nalabordin, S.A. Gorskih

The paper deals with the expected number of substitutions wheelset passenger cars based on the processing of empirical data. Statistical methods research a distribution law, which governs the number of replacements wheels for a month. The results of the calculations should be used to predict the extent of repairs and determine the optimal reserve serviceable wheel sets.

Keywords: rolling stock, wheel sets, passenger cars

Рассмотрены вопросы ожидаемого числа замен колесных пар пассажирских вагонов на основе обработки эмпирических данных. Статистическими методами исследования получен закон распределения, которому подчиняется число замен колес в течение месяца. Результаты расчетов рекомендуется использовать для прогнозирования объемов ремонта и определения оптимального запаса исправных колесных пар.

Для обеспечения безопасности движения и повышения эксплуатационной надежности пассажирских вагонов необходимо не просто устранять причины нарушений безопасности, но и создавать эффективную систему предупреждения на основе глубокого анализа статистической информации о неисправностях.

Подобный подход необходим для создания управленческих инструментов и механизмов, которые позволят своевременно принять меры по выявлению возможных рисков и воздействовать на них до наступления отказа.

В настоящее время приходится констатировать факты, что не улучшается положение дел с безопасностью движения по причинам неисправностей колесных пар пассажирских вагонов. Динамика случаев данных транспортных происшествий за последние 5 лет существенно не снижается.

Колесные пары относятся к ходовым частям и являются одним из ответственных элементов вагона. Они предназначены для направления движения вагона по рельсовому пути и восприятия всех нагрузок передающихся от вагона на рельсы при их вращении. Работая в сложных условиях нагружения, колесные пары должны обеспечивать высокую надежность, так как от них во многом зависит безопасность движения поездов. Поэтому к ним предъявляют особые, повышенные требования Госстандарты, Правила технической эксплуатации железных дорог, Инструкция по освидетельствованию, ремонту и формированию вагонных колесных пар, а так же другие нормативные документы при проектировании изготовлении и содержания. Конструкция и техническое состояние колесных пар [1] оказывают влияние на плавность хода, величину сил, возникающих при взаимодействии вагона и пути, и сопротивления движению.

Работая в современных режимах эксплуатации железных дорог и экстремальных условиях окружающей среды, колесная пара вагона должна удовлетворять следующим основным требованиям: обладать достаточной прочностью, имея при этом минимальную необремененную массу с целью снижения тары подвижного состава и уменьшения непосредственного воздействия на рельсовый путь и элементы вагона при прохождении неровностей рельсовой колеи; обладать некоторой упругостью, обеспечивающей снижения уровня шума и смягчения толчков, возникающих при движении вагона по рельсовому пути; совместно с буксовыми узлами обеспечивать возможно меньшее сопротивление при движении вагона и возможно большее сопротивление износу элементов, подвергающихся изнашиванию в эксплуатации.

Несомненно, что колесные пары это самый нагруженный элемент конструкции вагона, при этом их ремонт является наиболее трудоемким процессом с использованием большого

количества измерительного, слесарного инструмента, технологической оснастки, приспособлений и станочного оборудования. Соответственно вопросы по содержанию запаса заранее отремонтированных колесных пар для осуществления своевременного ремонта пассажирских вагонов носят весьма актуальный характер. Для построения вероятностной модели смены колесных пар пассажирских вагонов при всех видах технического обслуживания был проанализирован массив данных, представленный в таблице 1.

Таблица 1 – Массив эмпирических данных по замене колесных пар пассажирских вагонов на Забайкальской железной дороге с 2007-2011 гг.

| Месяц | 2007 г. | 2008 г. | 2009 г. | 2010 г. | 2011 г. |
|----------|---------|---------|---------|---------|---------|
| Январь | 147 | 180 | 163 | 93 | 107 |
| Февраль | 168 | 164 | 166 | 131 | 85 |
| Март | 134 | 121 | 117 | 100 | 80 |
| Апрель | 97 | 110 | 102 | 67 | 49 |
| Май | 152 | 132 | 141 | 102 | 61 |
| Июнь | 76 | 80 | 78 | 78 | 41 |
| Июль | 82 | 78 | 77 | 58 | 90 |
| Август | 131 | 119 | 126 | 106 | 92 |
| Сентябрь | 106 | 95 | 100 | 105 | 66 |
| Октябрь | 83 | 74 | 76 | 78 | 79 |
| Ноябрь | 77 | 65 | 83 | 58 | 57 |
| Декабрь | 93 | 79 | 82 | 78 | 73 |

Проведено выравнивание эмпирических частот по логарифмически – нормальному закону [2]. Плотность эмпирического распределения в сравнении с теоретической кривой представлена на рисунке, основные характеристики эмпирического логарифмически-нормального распределения представлены в таблице 2.

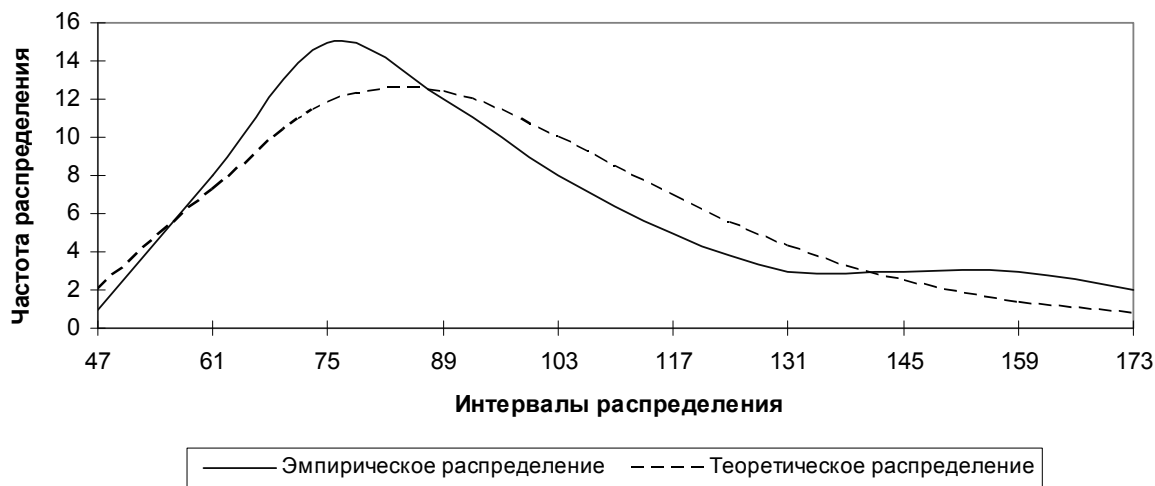


Рисунок – Эмпирическое и теоретическое логарифмически – нормальное распределение по замене колесных пар пассажирских вагонов

Таблица 2 – Основные числовые характеристики эмпирического логарифмически-нормального распределения

| Основные параметры распределения | Расчетная формула, обозначение параметра | Значение параметра |
|----------------------------------|---|--------------------|
| Плотность вероятностей | $f(x) = \frac{0,4343}{x\sigma_{\lg x}} \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(\lg x - \bar{\lg} x)^2}{2\sigma_{\lg x}^2}\right]$ | – |
| Математическое ожидание | $\bar{y} = \bar{\lg} x = \frac{\sum m_i \lg x_i}{\sum m_i}$ | 1,96 (98 к.п.) |
| Среднеквадратическое отклонение | $\sigma_{\lg x} = \sqrt{\frac{\sum m_i \lg^2 x_i}{\sum m_i} - (\bar{\lg} x)^2}$ | 0,137 |

В результате проведенных исследований получен закон распределения сменяемости колесных пар пассажирских вагонов при их техническом обслуживании на Забайкальской железной дороге. Результаты расчетов можно использовать для прогнозирования объемов ремонта и определения оптимального запаса исправных колесных пар.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Конструирование и расчет вагонов: учеб. для вузов ж.-д. трансп. / В.В. Лукин, Л.А. Шадур, В.Н. Котуранов, А.А. Хохлов, П.С. Анисимов; под ред. В.В. Лукина. -М.: УМК МПС России, 2000. -731 с.

2 Халафян, А.А. Statistica 6. Статистический анализ данных: учебник / А.А. Халафян. -3-е изд. -М.: Бинум-Пресс, 2007. - 512 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подвижной состав, колесные пары, пассажирские вагоны

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Четвериков Сергей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИргУПС»

Налабордин Денис Геннадьевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИргУПС»

Горских Сергей Андреевич, ассистент ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИргУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 672040, г.Чита, ул.Магистральная, 11, ЗаБИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИргУПС»

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Д.А. Аношенко, Ю.Н. Савельев

METHOD OF ESTIMATING OF BEARING CAPACITY OF TUNNEL LINING CONSIDERING THE CHANGES IN PHYSICAL AND MECHANICAL PROPERTIES OF SOIL

Siberian state transport university

D.A. Anoshenko, Yu.N. Savelyev

The article is devoted to the development calculating method of tunnel lining considering the changes in physical and mechanical properties of soil. It show that calculat of tunnel lining considering behind lining hollows can be operated by tradition method of structural theory, particularly.

Keywords: tunnel lining, behind lining hollows, mathematical modeling, method of Metroproekt

Разработана методика расчета тоннельных обделок с учетом влияния физико-механических свойств грунтов, в том числе при наличии заобделочных пустот. Показывает, что расчеты обделки с учетом заобделочных пустот могут выполняться традиционными методами строительной механики, в частности – методом Метропроекта.

Для количественной оценки влияния пустот на несущую способность тоннельной обделки устанавливаем расчетный метод, как детерминистическое решение, способное учитывать наличие заобделочных пустот.

В настоящее время существует два подхода к статическому расчету тоннельных обделок. Первый – это расчет на заданную нагрузку. Обделка рассматривается как подъемистый свод или кольцо в упругой среде и рассчитывается методами строительной механики. Второй – решается задача контактного взаимодействия обделок с грунтом на базе методов сплошных сред [1, 2].

Наиболее универсальным и широко применяемым методом расчета тоннельных конструкций является метод Метропроекта в различных модификациях (метод сил, метод перемещений строительной механики), позволяющий рассчитывать бесшарнирные (монолитные) и шарнирные обделки произвольного очертания постоянной и переменной жесткости при различного рода нелинейности системы «обделка-грунтовый массив» [3].

Метод конечных элементов (МКЭ), основанный на дискретном представлении континуальной среды и принципах строительной механики. МКЭ позволяет рассчитывать сооружения произвольной формы, учитывать неоднородность, анизотропию и трещиностойкость грунтового массива, нелинейные свойства грунтов и материала обделки.

В рамках данной работы для качественной оценки влияния заобделочных пустот на несущую способность тоннельной обделки используется, конечно-элементный, комплекс для проведения геотехнических расчетов – Midas GTS 2013, а для количественной оценки, а также для проведения массовых расчетов используется программный комплекс RK6.

Приоритетностью использования метода Метропроекта в данной расчетной модели

явилось так же то, что здесь можно легко моделировать наличие пустот, отключая упругие опоры, приложенные в узлах стержней в предполагаемой зоне упругого отпора.

На первом этапе исследований в качестве исходной принимается типовая подковообразная монолитная бетонная обделка без обратного свода, которая является несущей конструкцией однопутного железнодорожного тоннеля, залегающего в слабоустойчивых скальных грунтах ($f = 4$) (рисунок 1). Толщина обделки в замке 0,45 м. Класс бетона обделки В30.

Исследование статической работы конструкции тоннельной обделки при наличии пустот предусматривает расчет обделки с непрерывной упругой осью по первому предельному состоянию с определением несущей способности по прочности.

Чтобы влияние заобделочных пустот проявлялось в ярко выраженной форме, в расчетной схеме следует принять наиболее неблагоприятные условия статической работы обделки. Поэтому принимаем внешнюю нагрузку только в виде вертикального горного давления 55 кН (без учета горизонтального), наименьшую жесткость обделки (минимально допустимую толщину в шельге свода), слабые скальные грунты с невысоким коэффициентом упругого отпора.

Приняты следующие допущения и параметры модели:

- Симметричная расчетная схема (основная).
- Назначается большое число элементов, заведомо превышающее минимальный значимый размер пустоты $r = 80$.
- Учет пустоты в расчетах выполняется отключением упругих опор, в которых коэффициент упругого отпора принимается близким к нулю.
- Плоскодеформированное состояние.

При симметричной внешней нагрузке расчет проводится для половины сечения обделки (симметричная расчетная схема с $r = 40$). Влияние отброшенной половины учитывается путем постановки закреплений по направлению симметричных неизвестных: запрет горизонтального перемещения и поворота в шельге свода. При несимметричном расположении пустот в статический расчет вводится стержневая система с $r = 80$.

При проведении исследований для изучения характера воздействия пустот с качественной и количественной стороны необходимо выбрать объект исследований – то есть, тип и конструкцию тоннельной обделки, которые, во-первых, находят широкое применение в практике тоннелестроения, и во-вторых, в которых влияние пустотности проступает наиболее отчетливо и приводит к самым опасным НДС обделки. Принимаем как объект исследований обделку в виде несущей конструкции.

Принимается модель грунтового массива как сплошная, однородная, изотропная, линейно-деформируемая среда, характеризующаяся постоянными в пространстве и времени расчетными параметрами: модулем общей деформации E , коэффициентом поперечной деформации μ , коэффициентом упругого отпора K .

Для выполнения значительного числа статических расчетов обделок в данной работе используется программный комплекс RK6, разработанный специалистами института «Ленметрогипротранс». В основе метода – метод конечных элементов «в перемещениях». В комплексе безотпорная зона определяется путем проведения итераций с последовательным отключением растянутых связей на контакте грунт-обделка. Разработанные алгоритмы определения безотпорной зоны позволяют обеспечить возможность выбора ряда моделей грунтового основания в рамках одной программной реализации без изменения структуры комплекса. Зависимость между компенсирующей нагрузкой и перемещениями может быть нелинейной. Алгоритмы при этом имеют два принципиальных различия с упругим случаем: вместо матрицы упругого отпора по аналогичным принципам будет формироваться касательная или мгновенная матрица отпора грунта, компенсирующие нагрузки устанавливаются

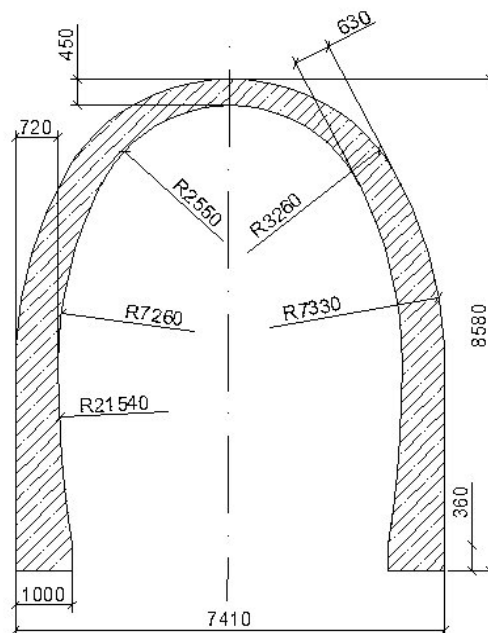


Рисунок 1 – Поперечное сечение обделки тоннеля

ся не только в узлах зоны отлипания, но и в других узлах, где потребуется коррекция жесткости связей, которые были поставлены в первой итерации. Результатами расчета являются внутренние усилия в элементах конструкции, перемещения узлов. Для проведения массовых расчетов, автоматического формирования входных данных и обработки результатов расчетов были разработаны дополнительные программы, написанные на языке Visual Basic, для каждого расчетного случая:

- а) разного числа элементов расчетной схемы $r = 20, 40$ и 80 ;
- б) моделирующие «пустоту» за обделкой в произвольном месте и произвольного размера;
- в) моделирующие с разной вероятностью: $p = 0,1-0,9$ случайное заполнение матрицы пустотности.

На основании результатов статических расчетов тоннельной обделки построены графики функций. Графики отражают поверхности «влияния» размеров и положения одиночных пустот на изгибающие моменты в трех опасных сечениях обделки. Пример такой поверхности показан на рисунке 2.

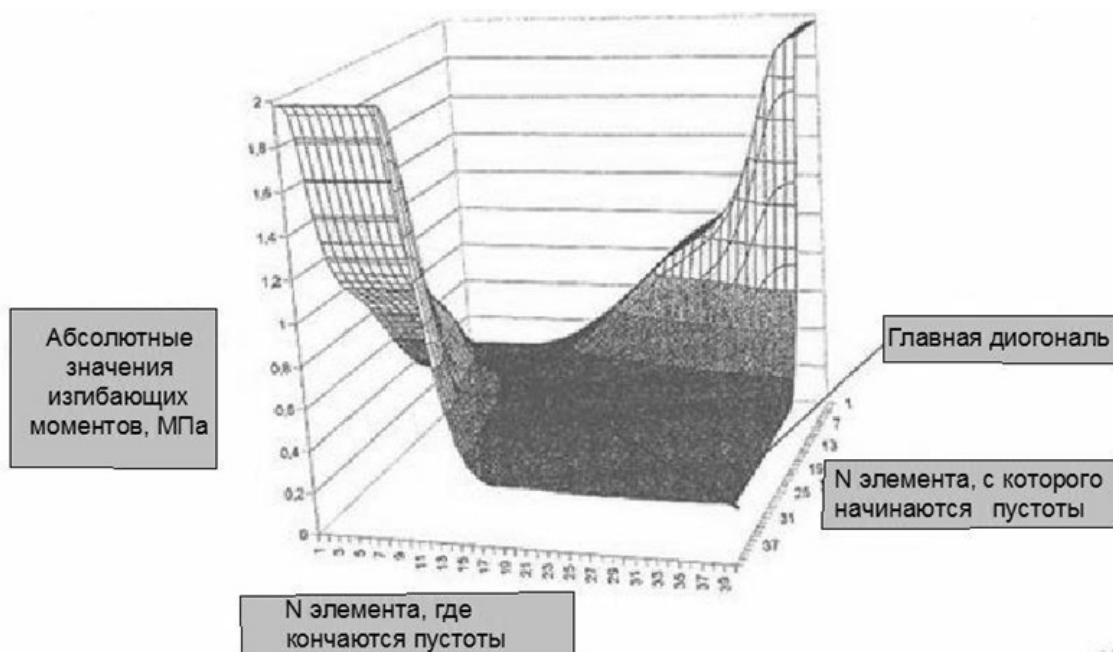


Рисунок 2 – Влияние положения и размера пустоты на значение изгибающего момента в шельге свода

По оси z отложены абсолютные значения изгибающих моментов, по оси x – порядковый номер элемента, с которого начинается пустота, по оси y – порядковый номер элемента, где кончается пустота. Фактически по оси x и y отложены координаты узлов стержневой системы в единичном масштабе длины стержня ($l_0 = 1$).

Анализ этих графиков и поверхностей позволяет выявить наиболее опасные положения пустот за обделкой и наиболее опасные сечения.

Вывод: расчеты обделки с учетом заобделочных пустот могут выполняться традиционными методами строительной механики, в частности – методом Метропроекта, с рассмотрением плоскодеформированной системы и заменой в ней реальных связей взаимодействия элементов дискретными связями. Метод Метропроекта позволяет моделировать пустоты одномерными случайными топологическими элементами с отключением упругих опор в узлах стержней. Такая схема подразумевает постоянство всех параметров (в том числе случайных пустот) системы вдоль продольной оси тоннеля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Юфин, С.А. Расчет подземных сооружений на ЭВМ методом конечных элементов / С.А. Юфин. -М.: МИСИ им. В.В. Куйбышева, 1980. -77 с.
- 2 Шапошников, Н.Н. Расчет тоннельных обделок методом перемещений с использованием ЭЦВМ /Н.Н. Шапошников. -М., 1969. -69 с.
- 3 Тоннели и метрополитены / под ред. В.П. Волкова. -М.: Транспорт, 1975. -551 с.
- 4 Справочник инженера-тоннельщика / под ред. В.Е. Меркина, С.Н. Власова, О.Н. Макарова. -М.: Транспорт, 1993. -389 с.

5 Потапова, О.А. Влияние размера и расположения пустот за тоннельной обделкой на изгибающие моменты, возникающие в ней / О.А. Потапова // Проблемы развития трансп. и инженер. коммуникаций. -1999. -№3. -С. 9-12.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тоннельная обделка, заобделочные пустоты, математическое моделирование, метод Метропроекта*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Аношенко Дмитрий Александрович, научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Савельев Юрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОТКАЗЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.Б. Репина

PROBABILISTIC APPROACH TO THE INCLUSION OF THE EFFECT HUMAN FACTORS IN TECHNICAL FAILURES RAIL TRANSPORT SYSTEMS

Siberian state transport university
I.B. Repina

Reliability are the key state of means of rail transport, the classification of human factors affecting their performance, is shown and proved the feasibility of probabilistic and statistical methods to take into account the human factor to the failure of technology.

Keywords: hardware failures, human factors, the probability of failure, the duration of failures, risks, economic damage, railway transport

Приведены основные состояния надежности технических средств железнодорожного транспорта, дана классификация человеческих факторов, негативно влияющих на их работоспособность, показана и обоснована целесообразность применения вероятностно-статистических методов к учету влияния человеческого фактора на отказы технических средств.

На железнодорожном транспорте учет, контроль устранения отказов технических средств и анализ их надежности регламентируется «Положением о порядке учета, расследования и анализа случаев отказов в работе технических средств ОАО «РЖД», утвержденным Распоряжением ОАО «РЖД» от 1 июля 2008 г. 1384р, и осуществляется с использованием комплексной автоматизированной системы анализа технических отказов КАСАНТ. В Положении даны основные определения и критерии отказов по хозяйствам железных дорог, приведена классификация по видам и категориям. Однако, механизму выявления отказов технических средств, допущенных по причине негативного влияния человека уделялось недостаточно внимания. Проблема формирования правильных управленческих решений, направленных на предупреждение возникновения или снижения влияния негативного человеческого фактора (ЧФ), несмотря на значительное количество работ в этой области, остается до настоящего времени актуальной [1]. Необходимо создание методологии определения и выявления отказов в работе технических средств, произошедших по причине негативного человеческого влияния на производственный процесс, включающей вероятностно-статистические методы исследований отказов, имитационного моделирования, методику оценки параметров отказов и рисков их возникновения, оценку потенциально возможных экономических ущербов от их проявления.

На полигоне филиала ОАО «РЖД» «Западно-Сибирская железная дорога» применена методика оценки влияния человеческого фактора на отказы технических средств, основанная на укрупненной классификации отказов по причине ЧФ, математической статистике и теории вероятностей. Некоторые результаты этих исследований приведены в [2, 3]. Нами продолжены исследования в части выявления причин проявления ЧФ и их вероятностной оценки. В ОАО «РЖД» утверждено СТО РЖД 02.039-2011 «Человеческие факторы в системе управления безопасностью», содержащее перечень человеческих факторов, способных негативно влиять на производственные процессы. Его детальное применение целесообразно при анализе чрезвычайных ситуаций на транспорте. В оперативной работе по принятому в системе КАСАНТ алгоритму учета технических отказов представляется рациональным проводить их анализ по укрупненным факторам (столбец 2 таблицы 1).

В филиале ОАО «РЖД» «Западно-Сибирская железная дорога» был проведен эксперимент по оценке негативного влияния ЧФ на отказы технических средств. Обработка данных позволила получить следующую суммарную продолжительность отказов по хозяйствам За-

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

падно-Сибирской железной дороги (таблица 2).

Таблица 1 – Классификация человеческих факторов, негативно влияющих на состояние ТС

| Код фактора | Наименование человеческого фактора | Причины проявления ЧФ, ведущие к отказу ТС |
|-------------|--|--|
| 1 | Поведенческие факторы, выражающиеся в личных качествах исполнителей | – неправильное планирование; спешка; влияние погодных условий; скука, невнимательность, рассеянность; личные проблемы (семейные, профессиональные, финансовые); самоуверенность; – неуверенность; неспособность оценки ситуации, паника; нарушение дисциплины; замедленная реакция; напряженность отношений в коллективе; – злоупотребление алкоголем/наркотическими веществами; личность, черты характера; привычки |
| 2 | Медицинские факторы, выражающиеся в состоянии физического здоровья | – физические данные, общее состояние здоровья; – острота органов чувств; утомляемость; – склонность ко сну; лишение сна; факторы питания (пропущенные приемы питания, пищевые отравления); прием лекарственных препаратов (самостоятельный); прием лекарственных препаратов (по показаниям врача); употребление алкоголя/наркотических средств; изменения в сознании; длительность реакции; стресс; – гипертензия/гипотензия; прочие острые заболевания; ранее перенесенные заболевания |
| 3 | Эксплуатационные факторы, выражающиеся в отборе персонала, наличии опыта, знании железнодорожных систем | – отбор персонала; недостаточный опыт; – недостаточный уровень переподготовки; – недостаточное знание железнодорожных систем; – контроль |
| 4 | Факторы, связанные с конструкцией оборудования | – конструкция и расположение приборов и органов управления; освещение; несовместимость в рабочем пространстве; ограничение угла зрения; – слишком широкий круг обязанностей (сложные виды работ); неосторожные действия; сбои в работе персонального оборудования; результаты использования автоматизации |
| 5 | Факторы, связанные со сбором и передачей данных, выражающиеся в неправильной интерпретации устных сообщений, недостаточной координацией действий персонала | – адекватность письменных материалов (доступность, понятность, квалифицированность и т.д.); неправильная интерпретация устных сообщений; шумовые помехи; недостаточная координация действий персонала; несвоевременность и неточность устных сообщений; звуковая сигнализация (предупреждения, гул, звонки и т.д.); отображения показаний приборов |
| 6 | Субъективное восприятие окружающей среды и реакция на ее проявление (Другие проявления человеческого фактора) | – внимательность (бдительность, забывчивость и т.д.); степень усталости по отношению к рабочей нагрузке; способность оценки ситуации в нестандартной и аварийной ситуации; условия работы (освещение, шум и т.д.); расположение и конструкция оборудования; уровень подготовки и квалификации; взаимодействие; присутствие контролеров; методики работы. |

Полученные статистические данные обработаны с помощью EXCEL и пакетов программ, разработанных в СГУПС.

Так как отказы носят случайный характер, то их количество и продолжительность до восстановления работоспособного состояния можно считать случайными величинами, что позволяет применить математический аппарат теории вероятностей. Надежность представляет собой функции распределения этой же случайной величины, риск – величину обратную надежности.

Вероятность возникновения отказов до заданного или допустимого времени определяют по графикам надежности; и риск возникновения отказов – по графикам рисков. Нами выполнены расчеты параметров отказов с учетом принятой классификации (см. таблица 1), по факторам по дороге в целом.

Специальных исследований по определению зон допустимых значений параметров от-

казов в контексте настоящей статьи не проводилось. Приведем один из возможных подходов к оценке рисков потенциальных отказов ТС. В качестве показателей примем вероятность появления рисков и возможный экономический ущерб от их проявления. Под риском будем понимать события, определяемые как вероятностные (стохастические) факторы негативного воздействия на ТС, вызывающие нарушение сроков выполнения работ, снижение надежности и долговечности конструктивных элементов, сокращение межремонтных периодов, финансовые и экономические потери корпорации. В таблице 3 приведена оценочная матрица рисков отказов технических средств железнодорожного транспорта: от маловероятного незначительного риска до ожидаемого критического.

Вероятность возникновения рисков отказов может служить критерием количественной оценки дополнительных финансовых расходов на их ликвидацию. В первом приближении зоны качественной оценки рисков на производственные процессы железнодорожного транспорта могут быть приняты по обобщенной функции желательности Харрингтона [4] (таблица 4).

Таблица 2 – Фрагмент сводной таблицы по суммарной продолжительности отказов по службам (дирекциям) в минутах

| Наименование | 1 категория | 2 категория | ЧФ |
|------------------------------------|-------------|-------------|------|
| Служба пути | 1228 | 3038 | 112 |
| Контактная сеть | 2613 | 492 | 144 |
| СЦБ ж.д. автоматики и телемеханики | 7490 | 5997 | 644 |
| Линии СЦБ | 806 | 515 | 644 |
| Пассажирские вагоны | 1901 | 81 | 3219 |
| Подвижной состав | 641 | 263 | 257 |
| Тяговая подстанция | 393 | 414 | 1020 |
| Локомотивы МВПС | 7592 | 4680 | 1020 |

Таблица 3 – Оценочная матрица рисков

| | | | | |
|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------|--|
| | | ← Возрастание вероятности | | |
| ↑ Возрастание воздействия | Ожидаемый критический риск | Возможный критический риск | Маловероятный критический риск | |
| | Ожидаемый умеренный риск | Возможный умеренный риск | Маловероятный умеренный риск | |
| | Ожидаемый незначительный риск | Возможный незначительный риск | Маловероятный незначительный риск | |

Количественная оценка ущербов рисков потенциальных отказов ТС в настоящее время затруднена из-за отсутствия информации по затратам на их восстановление. На первом этапе оценку экономических ущербов можно определить экспертным методом.

Максимальный усредненный по экспертам экономический ущерб определим как

$$C_i = \sum_{j=1}^{R_j} P_{ij} C_{ij} ,$$

где i – номер хозяйства $i = 1, 2, 3, \dots$;

P_{ij} – вероятность возникновения потенциального риска от j -го вида риска в i -м хозяйстве;

C_{ij} – экономический ущерб от j -го вида рисков в i -ом хозяйстве.

Учет влияния и особенно снижение количества отказов, вызванных человеческим фактором, является сложной научно-практической задачей, требующей изучения причин отказов, их статистической обработки. На основе данных КАСАНТ возможно построение системы управления потоком отказов. Она может быть разработана в несколько этапов:

– анализ баз данных отказов технических средств по причине влияния человеческого фактора за продолжительный период времени по ряду базовых железных дорог;

– уточнение классификации отказов технических средств по причине влияния человеческого фактора и оценка ее достоверности;

– определение критериев оценки при деградационном, конструктивном, производственном, эксплуатационном отказах, по которым возможно отнесение отказа в число случаев, произошедших по причине влияния «человеческого фактора» на производственно-технологический процесс, в том числе вероятности возникновения отказа, вероятности восстановления после обнаружения отказа; интенсивности отказов, интенсивности восстановления; среднему времени между отказами, индексу надежности технических средств по подразделениям инфраструктурного комплекса;

– классификация рисков возникновения отказов по причине влияния «человеческого фактора» на производственно-технологический процесс инфраструктурного комплекса на основе экспертных оценок путем анкетирования по следующим признакам: периодичности возникновения рисков, вероятности их проявления в производственном процессе, значимости по критерию безопасности, значимости по категориям отказов, вероятных экономических ущербов по ограничениям: минимальных, максимальных и наиболее вероятных;

– комплекс корреляционно-регрессионных моделей по статистическим данным отказов, вызванных «человеческим фактором» в инфраструктурном комплексе железных дорог;

– методика управления рисками отказов, вызванных влиянием человеческого фактора;

– методика оценки снижения затрат за счет прогнозирования интенсивности отказов по причине человеческого фактора.

Таблица 4 – Диапазоны шкалы оценки рисков

| Желательность | Вероятность возникновения риска |
|--------------------------------|---------------------------------|
| Маловероятный критический риск | 1,00-0,80 |
| Ожидаемый незначительный риск | 0,80-0,63 |
| Ожидаемый умеренный риск | 0,63-0,37 |
| Возможный критический риск | 0,37-0,20 |
| Ожидаемый критический риск | 0,20-0,00 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Человеческий фактор в управлении: сб. ст. / под ред. Н.А. Абрамова, К.С. Гинсберга, Д.А. Новикова. -М.: КомКнига, 2006. -496 с.
 2 Воробьев, В.С. Человеческий фактор в системе отказов технических средств железнодорожного транспорта / В.С. Воробьев, Р.М. Брызгалова, И.Б. Репина // Наука и трансп. -2012. -№3. -С. 42-46.
 3 Влияние человеческого фактора на отказы технических систем железнодорожного транспорта / В.С. Воробьев, А.В. Балахонцев, Р.М. Брызгалова, С.М. Кузнецов, И.Б. Репина // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 119-123.
 4 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. -М.: Наука, 1976. -280 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: отказы технических средств, человеческий фактор, вероятность появления отказов, продолжительность отказов, риски, экономический ущерб, железнодорожный транспорт
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Репина Ирина Борисовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПОДТОПЛЕНИЯ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ОБЬ НА УЧАСТКЕ ПЕРВОМАЙСКОГО И СОВЕТСКОГО РАЙОНОВ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Т.Н. Михайлова, Т.В. Пилипенко

THE ANALYSIS OF NATURE OF FLOODING OF A RIGHT-BANK FLOOD PLAIN OF THE OB RIVER ON SITE OF PERVOMISKY AND SOVIETSKY AREAS
 Novosibirsk state academy of water transport
 T.N. Mikhaylova, T.V. Piliipenko

The research of the reasons of high-water bed's flooding of the river Ob on the studied section is beeing conducted in the given article.

Keywords: gauging, flooding, waterlogging, bank protection measures

Проведено исследование причин затопления поймы р.Обь на рассматриваемом участке.

Проблема защиты от весенних наводнений пойменных участков равнинных рек, расположенных в нижних бьефах гидроузлов, и выбор конкретных инженерных способов защиты

связаны с решением ряда задач. В первую очередь, мы должны учесть и проанализировать следующие факторы:

- климатическая и гидрологическая характеристики;
- расположение в непосредственной близости от Новосибирского гидроузла;
- тип руслового процесса.

Как известно, река Обь образована в результате слияния двух рек: Бии и Катунь. Протекая через горы Алтая, эти реки питаются и ледниковыми, и тальными снеговыми, и дождевыми водами, поэтому для определения зоны подтопления рассматриваемого участка, необходимо проанализировать годовой сток этих рек.

В средний по водности год годовой сток Оби у слияния Бии и Катунь равен 35 км^3 . К створу г. Барнаул (участок длиной 275 км) объём стока увеличивается до $41,9 \text{ км}^3$. Далее вниз по течению до створа г. Камень-на-Оби (участок длиной 233 км) годовой сток реки возрастает на $7,9 \text{ км}^3$, а от г. Камень-на-Оби до г. Новосибирск – ещё на $5,1 \text{ км}^3$. То есть реки Бия и Катунь дают 74% годового стока Оби в створе г. Камень-на-Оби. Если же взять все реки Горного Алтая, то их доля в формировании стока Оби возрастёт до 85%; эти пропорции сохраняются и в маловодные периоды, когда приток воды в Новосибирское водохранилище сокращается до 42 км^3 , и в многоводные годы с объёмом притока до 67 км^3 и более. Следовательно, основная масса поступающей в Новосибирское водохранилище воды формируется за счёт горного стока. При этом даже в маловодные годы полезная ёмкость водохранилища ($4,4 \text{ км}^3$) обеспечивает лишь неглубокое сезонное регулирование стока.

Внутригодовые колебания водности в бассейне Новосибирского водохранилища в значительной мере обусловлены климатическими условиями территории.

Рассматриваемый участок находится на прилегающей к нижнему бьефу территории, поэтому на него, помимо указанных выше климатических и географических условий, влияет также режим сброса воды из Новосибирского водохранилища.

Во внутригодовом разрезе водный режим Оби на приплотинном участке характеризуется невысоким и растянутым во времени половодьем, повышенным летне-осенним стоком и низкой зимней меженью. Период высокой воды длится в среднем со второй декады апреля до конца июня. При этом отчётливо выражены две волны половодья: одна – в начале, вторая – в конце периода высокой воды. Первая, с максимумом в конце апреля - начале мая, обусловлена таянием снега на равнинной территории. Вторая волна паводка обязана своим происхождением таянию снега и ледников в Горном Алтае; максимум этой волны наблюдается в июне - начале июля, реже – в конце мая.

Город Новосибирск постоянно увеличивается как территориально, так и численно. В связи с этим непрерывно растёт водо-, энерго- и теплотребление. Возможность же увеличения данных показателей напрямую зависит от деятельности Новосибирской ГЭС. Также от работы ГЭС зависит судоходная обстановка реки Обь и многое другое. И, соответственно, рассматриваемый нами участок очень быстро и «чутко» реагирует на постоянное изменение сбросов воды из Новосибирского водохранилища.

Как известно, все реки классифицируются по типу руслового процесса. Река Обь в районе, прилегающем к территории города Новосибирск, относится к типу руслового процесса «пойменная многорукавность». Особенностью данного типа руслового процесса является то, что во время высокого весеннего половодья пойма реки становится затопленной не только в результате непосредственного перелива воды через берега, но и в результате переполнения пойменных проток и поднятия уровня грунтовых вод, избегая перелива воды через пойменные бровки.

Для анализа пойменной многорукавности на рассматриваемом участке топографическая карта Первомайского и Советского районов города Новосибирска была приведена в единую систему высот (Балтийскую) На данную съёмку была нанесена граница уровня воды 1% и 10% обеспеченности, что дало возможность наглядно рассмотреть границы затопления поймы при наводнениях различной высоты.

В результате проведенных исследований нами были сделаны следующие выводы:

- Наиболее развитой на рассматриваемом участке является правобережная пойма, разделённая длинными разветвлёнными протоками (Матвеевской и др.) на крупные островные массивы (о-ва Корабль, Малашка, Таловый и др.), начиная от устья нижнего подходного канала и заканчивая участком, прилежащим Комсомольскому железнодорожному мосту (685,4-694,5 км).

- Ширина затопляемых участков поймы достигает в некоторых местах Бердского шоссе

с минимальным расстоянием от границы затопления 200 м (при уровне воды 1% обеспеченности), для уровня 10% обеспеченности минимальное расстояние увеличивается до 450 м. Общая площадь затопления составляет порядка 3000 га, причем до 90% этой площади занято дачными обществами и коттеджными поселками.

– Понижения береговой линии, через которые перетекает избыточный расход экстремального половодья расположены в основном на двух участках. Первый лежит от начала нижнего подходного канала (680,4 км) до пос. Нижняя Ельцовка, второй – у о-ва Таловый, имеющего низкие отметки территории и береговой линии.

– Заполнение сети пойменных проток при катастрофических половодьях происходит через исток (685,4 км) и устье (691,5 км) Матвеевской (Малой) протоки.

Все вышеизложенные факторы были нами достаточно подробно проанализированы, в результате чего мы сделали следующие выводы:

1 Полная ликвидация вероятности подтопления невозможна вследствие ряда природных факторов, как то: гидрологические особенности, принадлежность к определенному типу руслового процесса и пр.

2 Необходимо по возможности более точное прогнозирование поступления воды в Обское водохранилище в результате таяния снегов с бассейна Оби и ледников Алтая по данным подсчета снеговых и ледниковых запасов Гидрометеослужбой.

3 Необходимо максимально предотвратить возможность подтопления за счет совершенствования регулирования сброса воды через турбины Новосибирской ГЭС.

4 Необходимо дальнейшее проведение инженерных исследований и русловых и геодезических изысканий на данной территории для выбора способов защиты пойменных участков для минимизации последствий весенних наводнений.

В качестве предварительных предложений рассмотрен комплекс гидротехнических устройств, в состав которых входят, во-первых, дамбы, перекрывающие сеть пойменных проток в начале и конце Матвеевской протоки. Сложность в том, что необходимо сохранить естественный водообмен между системой проток и Обью в период межени и низких и средних половодий. Во-вторых, участки понижения пойменных бровок во всех указанных выше местах необходимо нарастить до незатопляемых отметок с помощью шпунтовых стенок или насыпей.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гидропост, паводок, подтопление, берегозащитные мероприятия
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Михайлова Татьяна Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Пилипенко Татьяна Викторовна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА БОЛЬВЕРКОВ ИЗ ШПУНТОВ ТРУБЧАТЫХ СВАРНЫХ

ООО «Трест Запсибгидрострой»

А.Ш. Бройтман

THE CONSTRUCTIVE-TECHNOLOGICAL ADVANTAGES OF REVETMENTS FROM TONGUE WELDED PIPE

Trust Zapsibgidrostroy
A.Sh Broytman

The article introduces with new type of piles (tongue welded pipe) which is used in hydraulic engineering in Western Siberia and the Far North. The results of field tests.

Keywords: sheet pile wall, tongue welded pipe, trushpunt

Знакомство с новым типом свай (шпунты трубчатые сварные) применяемом в гидротехническом строительстве в условиях Западной Сибири и Крайнего Севера. Результаты натурных испытаний.

Подпорные стенки, набережные и берегоукрепления – древнейшие и широко распространенные объекты строительства. Причем, данные объекты строительства являются наиболее консервативными по конструкции.

Начиная с середины 30-х годов XX века, связи с бурным ростом городов, в нашей стране началось массовое строительство городских и причальных набережных, а также берегоукреплений на реках и каналах, которое в основном осуществлялось из монолитного бетона

и железобетона и реже из стального шпунта. Для ускорения строительства и улучшения его качества с конца 50-х годов прошлого века для этого стали внедряться тонкостенные конструкции из сборного железобетона, в том числе предварительно напряженные (шпунтовые, уголовые и т.д.).

Если коротко охарактеризовать типы и условия применения конструкций на опыте Западной Сибири в зависимости от инженерно-геологических, гидрологических и природно-климатических условиях, в том числе, экстремальных, можно выделить следующие их группы [1- 3]:

1 На скальных, полускальных, гравийно-галечниковых грунтах, не допускающих возможность погружать сваи и шпунт, – *гравитационные сборные, сборномонолитные и монолитные конструкции.*

2 В умеренных ледовых условиях, при слабых грунтах основания появляются *эстакады* на призматических сваях, сваях и трубах-оболочках, стальных трубах с различной степенью сборности ростверка – монолитным, сборным, полусборным.

3 В особую группу следует выделить быстровозводимые причальные сооружения – принципиально новая индустриальная *конструкция из наплавных трубчатых блоков-модулей* полной заводской готовности для освоения малых рек.

4 На грунтах, допускающих погружение свай, – *больверки* (тонкие стенки) – засыпанная грунтом стенка из шпунта, металлических или железобетонных свай, свай-оболочек и панелей. Набережные этого типа наиболее просты по устройству, экономичны и минимально чувствительны к перегрузкам [2, 4, 5].

В России стальной шпунт до недавнего времени не производился. Для строительства подпорных стен применяли импортный шпунт или переходили на конструкции с экранирующими и разгрузочными устройствами, для возведения которых требовались значительные затраты труда, материалов и энергии. Отсутствие производства стального шпунта современных профилей стало существенным тормозом в развитии российского транспортного и портового гидротехнического строительства.

В последние годы, наибольший технический, экономический и социальный эффект получен в результате разработки, организации производства и внедрения шпунтов трубчатых сварных – ШТС-трубошпунт [2, 4, 6].

В связи с вышесказанным о необходимости наличия шпунтовой сваи, имеющей момент сопротивления выше момента традиционного шпунта типа Ларсен, в ООО «Трест Запсибгидрострой» на заводе в г. Сургуте для северной климатической зоны изготавливают ШТС-трубошпунт в соответствии с требованиями национального стандарта ГОСТ Р 52664-2010, восьми технических условий, трех строительных норм и сводов правил и трех стандартов организации (автор – Гончаров В.В.), приваривая к стальным трубам диаметром 530-1420 мм со стенками толщиной 8-30 мм замковые соединения (коннекторы) с усилиями на разрыв не менее 1500 кН/п.м [3, 7-9]. Моменты сопротивления ШТС достигают 13 000 см³, моменты инерции 900 000 см⁴, шаг профилей 1,94 м, а удельный расход стали не превышает 200-450 кг на 1 м² стены в зависимости от толщины стенки трубы.

Необходимость в таких шпунтовых сваях вызвана специфическими условиями района строительства (Западная Сибирь и Крайний Север), к числу которых в первую очередь относятся разнообразные сложные природные условия, например:

- основание сооружений может быть сложено скальными грунтами, гравийно-галечными, песчаными, глинистыми различной консистенции, включая релаксирующие;
- диапазон высот от 6-7 м на Новосибирском водохранилище и малых реках до 16 м в п. Стрежевом;
- толщина льда во время ледохода до 1,5 м;
- морской и речной флот нового поколения с осадкой 10 м и более.

Что же представляет собой стенка из конструкции шпунта трубчатого сварного-ШТС? Шпунтовая стенка включает вертикальную грань из забитых в ряд трубчатых свай, которые снабжены различными в поперечном сечении замками, развернутыми в противоположные стороны кососимметрично относительно нейтральной оси стенки (при замках из раскроя шпунта корытного профиля – коннекторах), или диаметрально противоположными (при других коннекторах). При соединении двух и последующих свай геометрические оси элементов, проходящие через их центры тяжести, образуют зигзагообразную линию (при применении замков из раскроя свай корытного профиля), благодаря чему увеличивается жесткость и несущая способность образуемой трубчатыми элементами стенки.

В связи с тем, что первоначально в основу трубошпунта лёг Ларсен 5, основные параметры, приведём именно для этого шпунта: ширина трубчатого сварного шпунта в зависимости от диаметра трубы колеблется от 1000 до 1280 мм, что соответствует ширине пакета из трех шпунтин Л5 (рисунок 1).

Сравнивая момент сопротивления шпунтин ШТС-720-8-Л5 с моментом сопротивления образующей его трубы 720×8 мм, видим, что он составляет у трубошпунтины 3481 см³, трубы – 3153 см³, то есть доля замка в моменте сопротивления трубошпунтины составляет 9,5%. В то же время масса 1 п.м. трубошпунтины 241,87 кг, масса трубы – 141,0 кг.

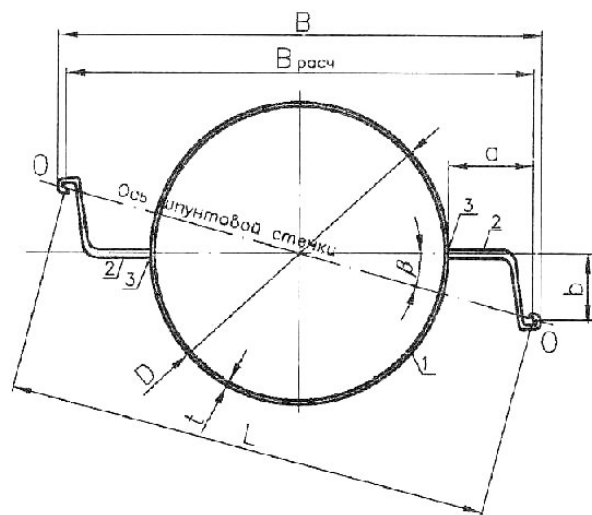
Таким образом, при увеличении момента сопротивления и соответственно несущей способности на 9,5% увеличение материалоемкости составит 41,5%. Снижение материалоемкости трубошпунта по сравнению со трубошпунтом с замками Ларсен V вызвано тем, что последний нерационально использовали в замках, где практически напряжения равны нулю.

В дальнейшем вопрос решился кардинально, в замках стали применять полушпунтины ШК-1, с толщиной стенки 10 мм, что сразу удешевило трубошпунт и снизило его металлоемкость по сравнению с Ларсеном с 41,5% до 26,5%.

Конструкция больверка из металлического трубошпунта, как показал опыт его применения в морских и речных портах Крайнего Севера, имеет значительное преимущество перед другими типами конструкций при организации производстве работ, а кроме того существенно меньшую трудоемкость [4-6, 9]. При технологической грамотности организации производства исключается такой важный фактор в условиях Крайнего Севера, как сезонность. Вместе с тем в тяжелых условиях ледового режима больверки из металлического трубошпунта являются единственно возможными конструкциями. Благодаря изначальным свойствам трубошпунта, изготовленная из него конструкция позволяет без дополнительных разгрузочных устройств и даже анкеровки выдерживать колоссальные нагрузки.

Следует отметить конструктивно-прочностные преимущества ШТС:

- несущая свая-труба – имеет равножесткость во всех направлениях сечения;
- трубошпунт обладает исключительно высокой устойчивостью к поперечному и продольному изгибу, вертикальным нагрузкам;
- трубошпунты можно почти неограниченно усиливать за счет замещения части грунта внутри несущей сваи армокаркасом с железобетоном, просто бетонированием или размещением внутри трубы меньшего диаметра, балки, швеллера, и т.д. (рисунок 2);
- трубошпунт позволяет получить наибольший момент сопротивления погонного метра шпунтового ряда на единицу массы по сравнению с корытообразным и зетовым профилем;
- варьируя толщину стенки, марку стали, стенку и диаметр трубы можно легко масштабировать прочностные свойства трубошпунтовой стены в широком интервале значений изгибающего момента от 2705 до 170 000 см³, и момента инерции от 109 960 до 26 000 000 см⁴ для максимальной адаптации к условиям проектной задачи;
- высокая степень надёжности конструкций из ШТС для сейсмоопасных районов, глубоководных причалов для приёма крупнотоннажных судов;
- лучшее соотношение системы нагрузка – перемещение и уменьшенная осадка по сравнению со шпунтами типа Л4, Л5 и Л5-УМ;
- давление грунта и воды воспринимает на 90-95% труба шпунтовой сваи, а замковые соединения являются направляющими при забивке и элементами ограждения;



| Тип замкового соединения | Размеры | |
|--------------------------|---------|-------|
| | a, мм | b, мм |
| Л4 | 200 | 174 |
| Л5 | 210 | 161 |
| GU | 200 | 138 |
| ШК1 | 200 | 69.5 |

Рисунок 1 – Профиль шпунтовый трубчатый сварной с соединительными элементами из раскроя (половины профиля) корытного шпунта

– созданные конструкции замковых соединений позволяют свае занимать оптимальное положение при погружении, что особенно существенно в неоднородных грунтах с линзами, топляками и валунами;

– разработаны и реализованы проекты для «сверхбольших» нагрузок.

Наибольший эффект от перечисленных выше конструктивных преимуществ ШТС получен на строительстве подпорных стен, основание которых слагают неоднородные грунты с различными включениями и локальными изменениями физико-механических свойств.

Исследования в натуральных условиях показали, что в процессе забивки соседние трубошпунтовые сваи оказывают влияние друг на друга через замковые соединения. На контакте с валунами, топляками, линзами мерзлого грунта энергия погружения перераспределяется. Возникают условия раскрытия замковых соединений шпунтовой сваи и нарушение сплошности подпорной стены.

Преимущества ШТС, в сравнении с Л5-УМ, показывают следующие результаты расчётов:

- предельно допустимый момент на изгиб шпунта Л5–УМ из стали С 255 равен 77,4 тс·м/п.м, а крутящий момент – 0,92 тс·м;
- под нагрузкой превышающей

$$1,84 \text{ тс} = 0,922 \text{ тс} \cdot \text{м} / 0,502 \text{ м},$$

где 0,502 м – расстояние между серединами замков,

замковые соединения Л5-УМ раскрываются;

– для ШТС-720-10-ШК-1 с трубой 720×10 мм из стали ВСтЗсп и примерно равным Л5-УМ моментом сопротивления, предельно допустимый момент изгибающий М-ШТС – 83,5 тс·м/п.м., а крутящий момент – 106,3 тс·м;

– расстояние между замками ШТС равно 1,137 м;

– для раскрытия замковых соединений ШТС требуется усилие более

$$93,5 \text{ тс} = 106,3 \text{ тс} \cdot \text{м} / 1,137 \text{ м},$$

которое в 50 раз больше, чем для Л5-УМ.

Следовательно, при возведении подпорных стен из стальных шпунтов в неоднородных грунтах путем забивки свай дизель-молотами с расчётной энергией удара, вероятность раскрытия замковых соединений в Л5-УМ близка к единице, а для ШТС – 0,02.

Анализ опыта возведения подпорных стен из ШТС ООО «Трест Запсибгидрострой» суммарной протяженностью около 40 км без рекламаций доказал конструктивно-технические преимущества созданных трубошпунтов. За четверть века при погружении более 30 тысяч ШТС не было ни одного случая их разрушения при забивке или расхождения замковых соединений в подпорной стенах [2, 9], что по теории вероятности может быть оценено как практически невозможное событие, вероятность которого равна нулю.

Возведение объектов строительства из ШТС ООО «Трест Запсибгидрострой» под непосредственным руководством В.В. Гончарова, который является автором трубошпунта в России, обеспечило интенсивное развитие транспортной инфраструктуры ряда регионов РФ, стабильную работу пассажирского и грузового морского и речного транспорта, своевремен-

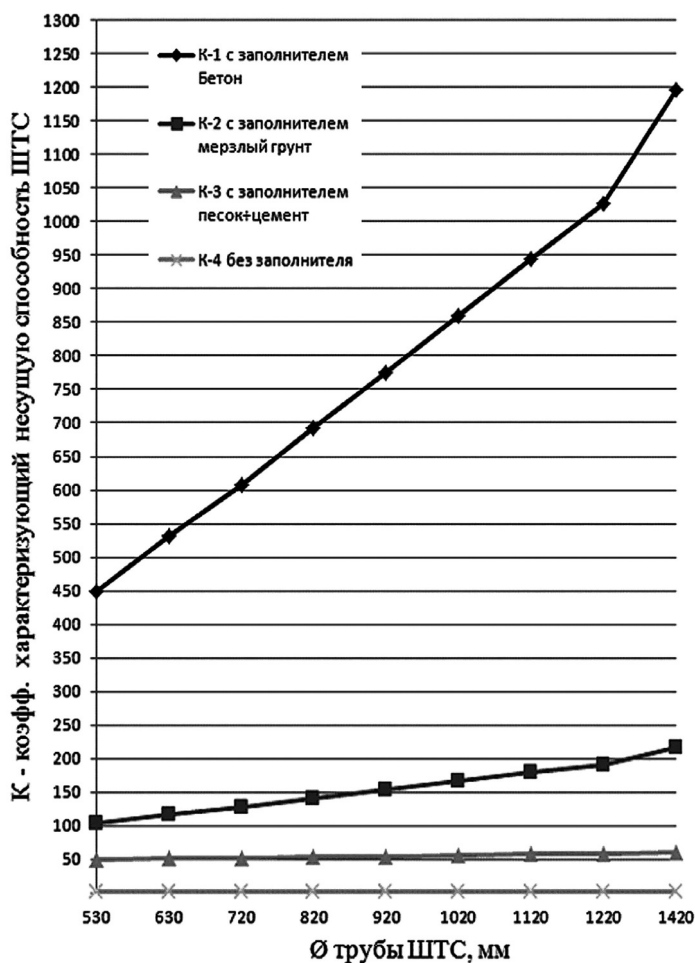


Рисунок 2 – График зависимости повышения жесткости ШТС от типа наполнителя

ную доставку оборудования для разведки и освоения месторождений углеводородного сырья в Ханты-Мансийском (ХМАО) и Ямало-Ненецком (ЯНАО) автономных округах РФ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Даревский, В.Э. Проектирование сооружений, обеспечивающих устойчивость грунтовых массивов / В.Э. Даревский, А.М. Романов. -М.: Гипроречтранс: Мастер, 2011. -595 с.
- 2 Бройтман, А.Ш. Стальной шпунт нового типа для портового, гидротехнического и транспортного строительства: науч. докл. ... д-ра трансп. Рос. акад. Трансп. / А.Ш. Бройтман. -Новосибирск, 2004. -122 с.
- 3 Сусликов, Е.И. Портовое гидротехническое строительство в Обь-Иртышском бассейне / Е.И. Сусликов, В.И. Морозов, Б.А. Пинягин. -Новосибирск: Сибречпроект, 2002. -107 с.
- 4 Гончаров, В.В. Применение трубчатого сварного шпунта в гидротехническом строительстве / В.В. Гончаров, А.Ш. Бройтман, Н.А. Ефремов //1-я научно-практическая конференция «Морские и речные порты России»: сб. тез. докл. / М-во трансп. РФ. -М., 2002. -С. 111-113.
- 5 Гончаров, В.В. Строительство и эксплуатация причальных сооружений из сварного трубчатого шпунта нового типа на Севере / В.В. Гончаров, А.Ш. Бройтман, Н.А. Ефремов // 2-я научно-практическая конференция «Морские и речные порты России»: сб. тез. докл. / М-во трансп. РФ. -М., 2004. -С. 70-71.
- 6 Гончаров, В.В. Строительство гидротехнических сооружений из трубчатого шпунта / В.В. Гончаров, А.Ш. Бройтман // Трансп. стр-во. -2004. -№9. -С. 11-15.
- 7 Реализованные проекты ОАО «Сибречпроект» с основным конструктивным элементом из трубошпунта с 1994-2012 гг.
- 8 Соколов, Н.М. Применение металлического шпунта при устройстве гидротехнических сооружений / Н.М. Соколов, З.А. Шашков. -М.: Машстройиздат, 1949.
- 9 Гончаров, В.В. Стальной шпунт нового профиля для транспортного, гидротехнического и портового строительства / В.В. Гончаров, А.Ш. Бройтман. -М.: ЦНИИС, 2005. -116 с. -(Научные труды ОАО ЦНИИС; вып.227).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

шпунтовая стенка, шпунты трубчатые сварные, трубошпунт

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Бройтман Аркадий Шлеймович, главный инженер ООО «Трест Запсибгидрострой»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

626403, г.Сургут, ул. Университетская, 7, ООО «Трест Запсибгидрострой»

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ОБЪЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УЧАСТКА РУСЛА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.В. Голышев, Н.А. Седых

DEVELOPMENT OF METHODOLOGY FOR RAPID ANALYSIS OF VOLUMETRIC CHANGES OF THE CHANNEL

Novosibirsk state academy of water transport

N.V. Golyshv, N.A. Sedyh

This article presents the results of development of basic techniques operational analysis of volumetric changes of the channel. The results of numerical modeling estimates of soil sampling during engineering works.

Keywords: channel, volume analysis

Приведены результаты разработки основ методики оперативного анализа объемных изменений русла. Приведены результаты численного моделирования оценки объемов выборки грунта при проведении гидротехнических работ.

Одной из важных составляющих анализа русловых процессов и обоснования гидротехнических работ является расчет параметров русла реки на основе данных русловой съемки. К таким параметрам относится, в частности, объем выбранного грунта при дноуглубительных работах. В настоящее время для контроля дноуглубительных работ на практике применяются методы, которые заключается в проведении основных расчетов вручную. В настоящее время для больших судоходных участков рек, озер и водохранилищ рельеф дна полномасштабно отображается на специальных навигационных картах, которые обновляются и дополняются ежегодно [1, 2]. При этом прибрежные несудоходные участки и области, а также акватории затонов и водоприемных ковшей практически не контролируются. Похожее положение существует и на малых реках.

Однако, на практике существует настоятельная необходимость проведения оперативного анализа обстановки на таких участках рек и акваторий где часто проводятся гидротехнические работы, приводящие к русловым переформированиям. В частности, к таковым относятся дноуглубительные работы и выборки грунта.

Ниже изложены основы разработки методов оперативного исследования русловых процессов на таких объектах. Обоснование методик проводится на основе математических моделей участка русла, процесса проведения съемки по случайным нерегулярным траекториям, построения на их основе электронных карт, а также расчета объемных переформирова-

ний русла методом статистических испытаний (Монте Карло).

Модель рельефа участка реки. Уравнение моделирования рельефа представлено в виде ряда

$$r(x, y) = \sum_{n=1}^N a_n \varphi_n(x, y),$$

где a_n – коэффициенты ряда;

$\varphi_n(x, y)$ – координатные функции вида

$$\varphi_n(x, y) = 1 - \exp\left[-\frac{(x - x_n)^2 + (y - y_n)^2}{k_n^2}\right].$$

Эффективная ширина спектра определялась из условия

$$|R(\omega_{mx}, \omega_{my})| \leq \varepsilon \max |R(\omega_x, \omega_y)|,$$

где $R(\omega_x, \omega_y)$ – двумерная спектральная плотность функции рельефа;

$$R(\omega_x, \omega_y) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} r(x, y) \exp(-j\omega_x x - j\omega_y y) dx dy;$$

ε – уровень ограничения в диапазоне (0,01-0,05);

ω_x, ω_y – пространственные частоты.

Для устранения искажения формы рельефа интервалы дискретизации по координатам необходимо выбирать в соответствии с теоремой отсчетов (Котельникова) [5]

$$\Delta x < \frac{\pi}{\omega_{mx}}; \quad \Delta y < \frac{\pi}{\omega_{my}}.$$

Модель позволяет легко создавать различные типы участков с разнообразными формами рельефа. Типичный участок рельефа представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Распределение глубин моделируемого участка русла

Модель процесса оперативной съемки участка русла. Процесс перемещения судна, проводящего съемку моделируется заданием его вектора скорости в виде

$$V_x(t) = V_{mx} f_x(t) + \eta_x(t); \quad V_y(t) = V_{my} f_y(t) + \eta_y(t),$$

где $V_x(t), V_y(t)$ – проекции вектора скорости судна;

$f_x(t), f_y(t)$ – функции описывающие форму галсов

$$|f_x(t)| \leq 1; \quad |f_y(t)| \leq 1;$$

$\eta_x(t), \eta_y(t)$ – проекции вектора гауссовского шума, имитирующие случайные отклонения от заданного курса.

Текущие координаты судна можно определить по формулам

$$x(t) = \int_0^t V_x(\tau) d\tau + x(0); \quad y(t) = \int_0^t V_y(\tau) d\tau + y(0),$$

где $x(0), y(0)$ – координаты начальной точки траектории движения судна.

При проведении расчетов координат положения судна время полагается дискретным $t = kT$, где T – интервал дискретизации по времени, равный интервалу поступления отсчетов приемника сигнала эхолота (приемника GPS, ГЛОНАСС).

Для приведения результатов измерения по случайным траекториям к равномерной сетке в алгоритме построения карты линий уровня используется аппроксимация кубическими сплайнами, либо линейная интерполяция [3, 4].

На рисунке 2 приведены результаты восстановления линий уровня рельефа, приведенного на рисунке 1. Там же показаны линии промерных галсов (точечная линия) и точки в которых измерялись глубины и координаты (квадратные точки на линиях галсов). Моделирование показало, что случайные отклонения от галсов практически не влияют на точность восстановления характеристик рельефа.

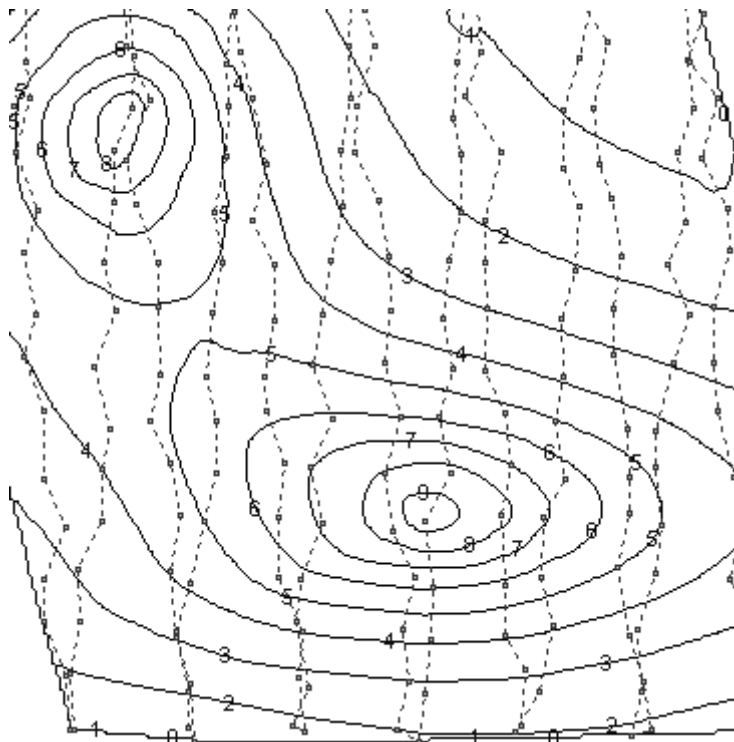


Рисунок 2 – Распределение глубин моделируемого участка русла, полученное в результате проведения съемки

На основе полученной электронной карты уровней можно рассчитать необходимые характеристики, в частности, объем выборки грунта.

Объем выборки грунта, полученный в результате переформирования участка русла, либо проведения дноуглубительных работ в области Σ определяется интегралом

$$V = \iint_{\Sigma} r_2(x,y) d\sigma - \iint_{\Sigma} r_1(x,y) d\sigma; \quad \Delta r(x,y) = r_1(x,y) - r_2(x,y),$$

где $r_1(x,y), r_2(x,y)$ – рельефы на участке русла до и после проведения работ соответственно.

Обычно для расчета V используется подход на основе численного интегрирования. При этом область разбивается на некоторое число в общем криволинейных трапеций для сведения объемного интеграла к повторным. Однако, чем более сложной является область, тем значительно усложняются расчеты. Метод Монте-Карло [6] позволяет значительно упростить вычисления и проводить их по единому алгоритму. В основе метода лежит моделирование случайных величин с целью вычисления характеристик их распределений.

Сущность метода состоит в следующем: пусть требуется найти значение a некоторой неслучайной величины. Для этого выбирают такую случайную величину X , математическое ожидание которой равно z то есть $E(x) = z$. Практически поступают так: производят M испытаний, в результате которых получают M возможных значений X и вычисляют их среднее арифметическое

$$\bar{X} = \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M X_m.$$

В качестве оценки z^* числа z принимают значение \bar{X} .

В сущности, метод Монте-Карло является методом статистических испытаний. Погрешность метода пропорциональна величине $1/\sqrt{M}$ [6]. Существует множество алгоритмов вычисления многомерных интегралов этим методом. В частности, в трехмерном пространстве можно применить следующий алгоритм.

В области $\Sigma \times (0, \sup(r))$ генерируются $M \gg 1$ случайных точек $G_n = (\alpha, \gamma, \xi)$. Для каждой точки определяется значение случайной величины Λ – признака попадания во внутреннюю область

$$\Lambda = \begin{cases} \sup(r), & \xi \leq r(\alpha, \gamma) \\ 0, & \xi > r(\alpha, \gamma) \end{cases}.$$

При этом приближенное значение интеграла является средним арифметическим этой случайной величины, то есть

$$V = \iint_{\Sigma} r(x, y) d\sigma \cong \frac{1}{M} \sum_{m=1}^M \Lambda_m.$$

Сходимость этой процедуры по вероятности доказана, например, в [6].

В качестве среды моделирования нами был выбран математический пакет MATLAB, в котором предусмотрены возможности построения графического интерфейса и создания исполняемых файлов вида *.exe.

В разработанном программном модуле предусмотрены функции выбора и задания видов рельефов, отображения и настройки параметров построения графиков, установления количества итераций и прогонов модели, тестовые примеры и т.д.

На рисунке 3 приведены результаты моделирования расчета объема выборки грунта на участке реки. На рисунке показаны совмещенные карты линий уровня до и после выборки. Относительная погрешность расчета методом Монте Карло составила при 10^3 точек (5-13)%. При увеличении количества точек до 10^4 погрешность расчета уменьшилась до (3-5)%.

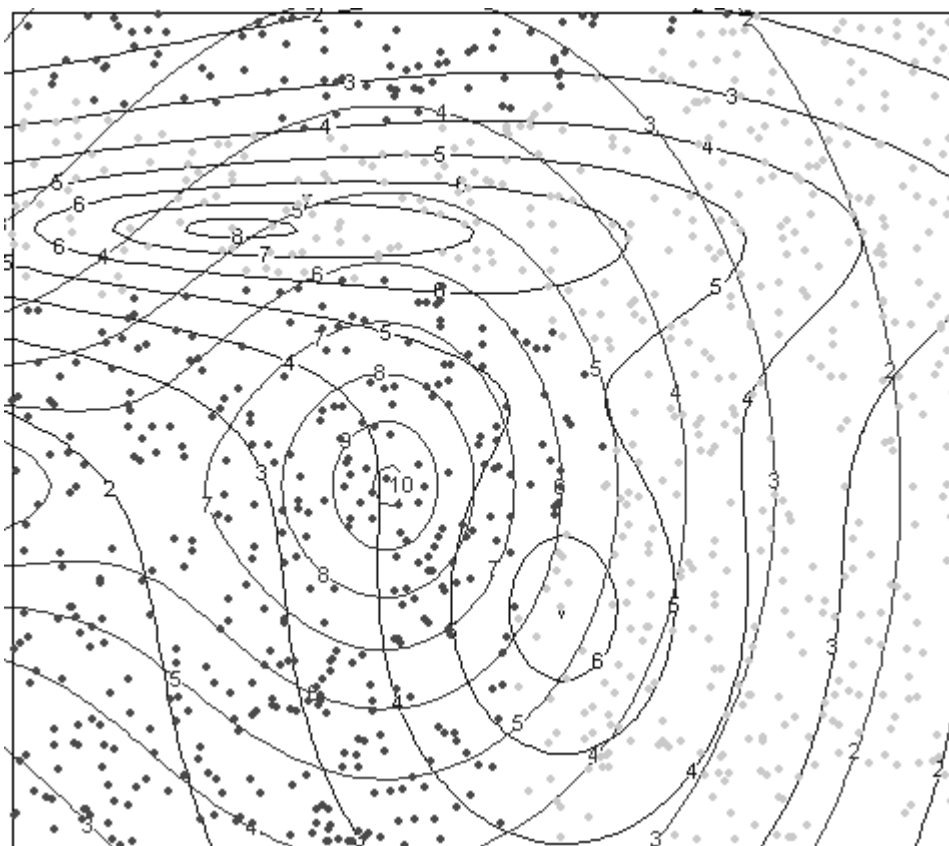


Рисунок 3 – Моделирование расчета объема выборки грунта на участке русла

В результате проведенных исследований показано, что для вычисления объема выbranного грунта с заданной точностью в приемлемые временные сроки может быть использован метод Монте-Карло. Разработанный программный модуль позволяет в зависимости от цели моделирования, производить оценку объема дноуглубительных работ, а также оперативный контроль их выполнения. Кроме того, предлагаемая методика может быть применена при исследовании развития различных русловых процессов во времени, в частности, заносимости затонов и водоприемников, а также динамику размыва и движения русловых форм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зайцев, А.А. Применение программно-аппаратного комплекса и спутникового координирования при проведении изысканий на водных путях / А.А. Зайцев, В.Ф. Егоров // Современное состояние водных путей и проблемы русловых процессов / МГУ, Географ. фак. -М., 1999. -С. 113-124.
- 2 Голышев, Н.В. Перспективы внедрения современных информационных технологий на водном транспорте / Н.В. Голышев, С.В. Моторин, Д.Н. Голышев // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2006. -Вып.9. -С. 287-291.
- 3 Завьялов, Ю.С. Методы сплайн-функций / Ю.С. Завьялов, Б.И. Квасов, В.Л. Мирошниченко. -М.: Наука, 1980. -352 с.
- 4 Василенко, В.А. Сплайн-функции. Теория, алгоритмы, программы / В.А. Василенко. -Новосибирск: Наука, 1983. -208 с.
- 5 Даджион, Д. Цифровая обработка многомерных сигналов: пер. с англ. / Д. Даджион, Р. Мерсеро. -М.: Мир, 1988. -275 с.
- 6 Соболев, И.М. Численные методы Монте-Карло / И.М. Соболев. -М.: Наука, 1973. -312 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: канал, оценка объема

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Голышев Николай Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Седых Наталья Александровна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ОСОБЕННОСТИ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПЕРЕКАТАХ СО СЛОЖНЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.М. Ботвинков, С.В. Печеркин

PARTICULARLY IMPROVED NAVIGATION CONDITIONS IN THE SHALLOWS WITH COMPLEX GEOLOGICAL CONDITIONS

Novosibirsk state academy of water transport

V.M. Botvinkov, S.V. Pecherkin

In this article the analysis of dredging factors on difficult sitis on the rivers.

Keywords: shallows of the river, shipping

Рассматриваются вопросы эффективного применения дноуглубительной техники при разработке перекатов со сложными геологическими условиями.

Как показывает практика обеспечения нормальных судоходных условий на реках наибольшие затруднения представляют перекатные участки со сложными геологическими условиями.

Выполненная нами обработка натуральных данных и отчётных материалов по рекам Иртыш и Обь показала, что к таким перекатным участкам следует отнести следующие, представленные на рисунке 1:

- имеющие глубинное расположение грунтов в виде:
 - а) верхний слой – песок, нижний – глина;
 - б) верхний слой – песок, нижний – гравий;
 - в) гравийно-песчаную смесь разной плотности;
- имеющие отдельные выступы твёрдых грунтов по ширине русла:
 - а) песок – гравий;
 - б) песок – каменные россыпи;
 - в) песок – камни единцы.

В зависимости от глубинного расположения грунтов (рисунок 2) и планового расположения на перекатном участке требуется разработка и производство специальных технологий для выполнения дноуглубительных работ, для обеспечения нормальных (безопасных) судоходных условий и (или) использование комплекса выправительных и дноуглубительных работ (рисунок 3).

Отметим, что применение последнего подхода к решению задач по обеспечению нор-

мальных судоходных условий и, прежде всего, на урбанизированных участках рек, где в силу разных причин невозможно строительство выправительных сооружений и укладки изъятых из прорезей грунта в виде отвалов, требует удаления извлечённого грунта к месту отвалов на большие расстояния, что влечёт за собой многократное увеличение времени разработки перекатов по сравнению с обычными условиями и снижению эффективности использования дноуглубительной техники в целом.



Рисунок 1 – Участки дна перекатов со сложными геологическими условиями

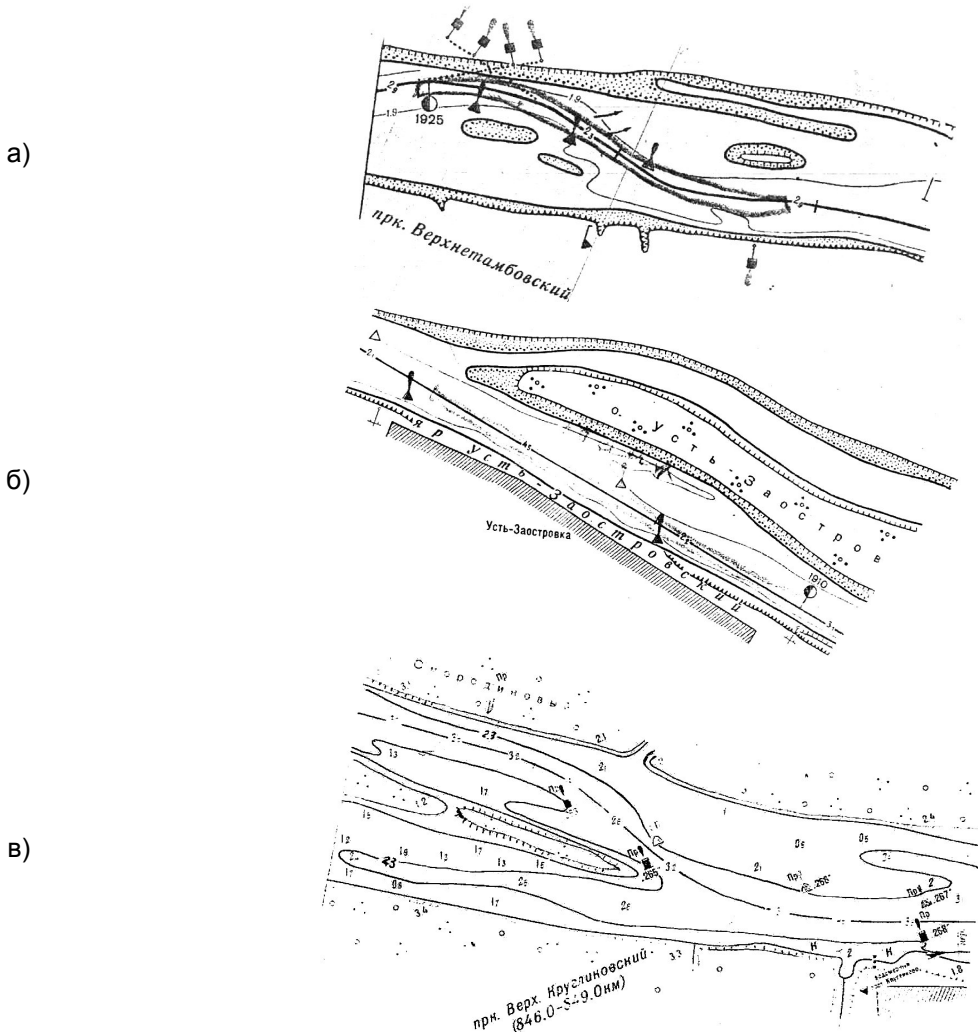
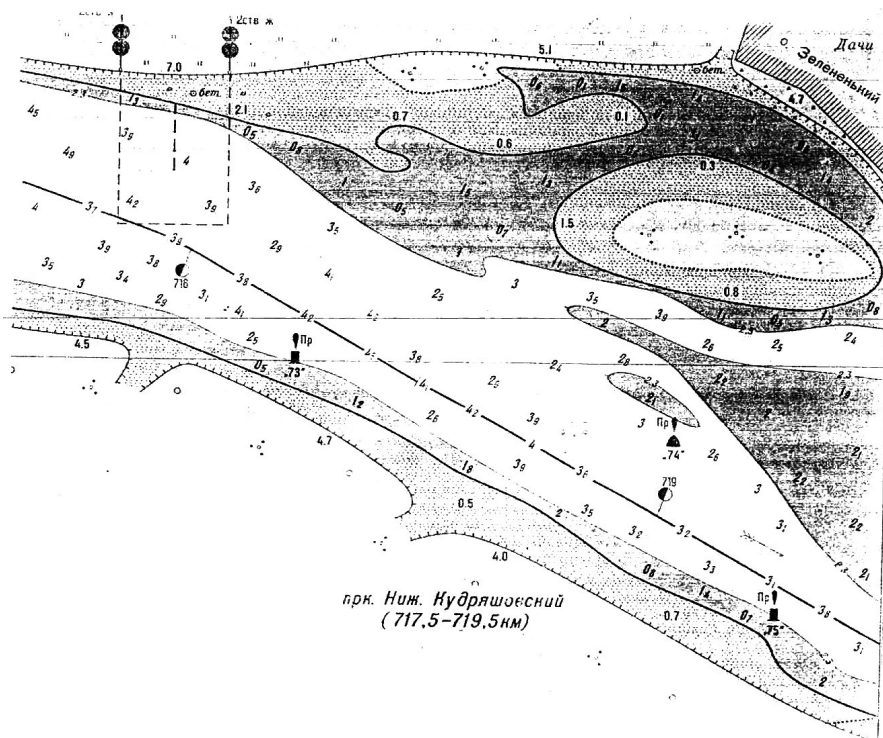
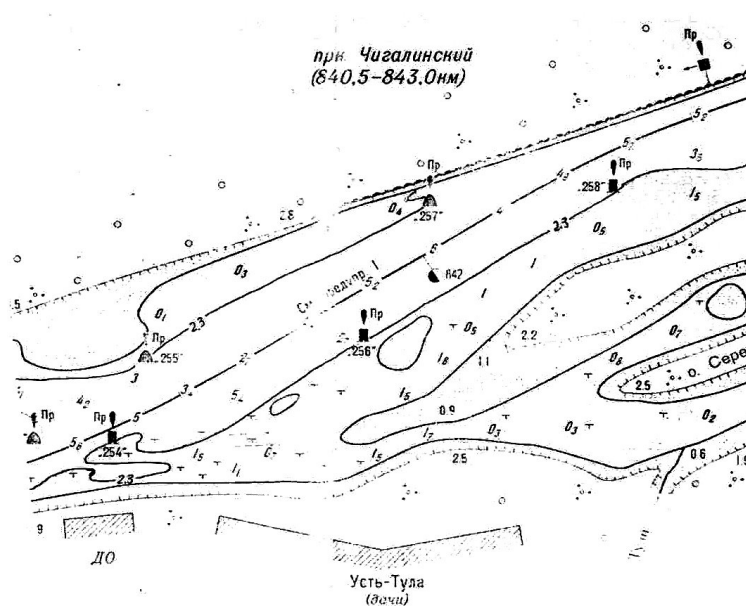


Рисунок 2 – Глубинное расположение грунтов

а)



б)



в)

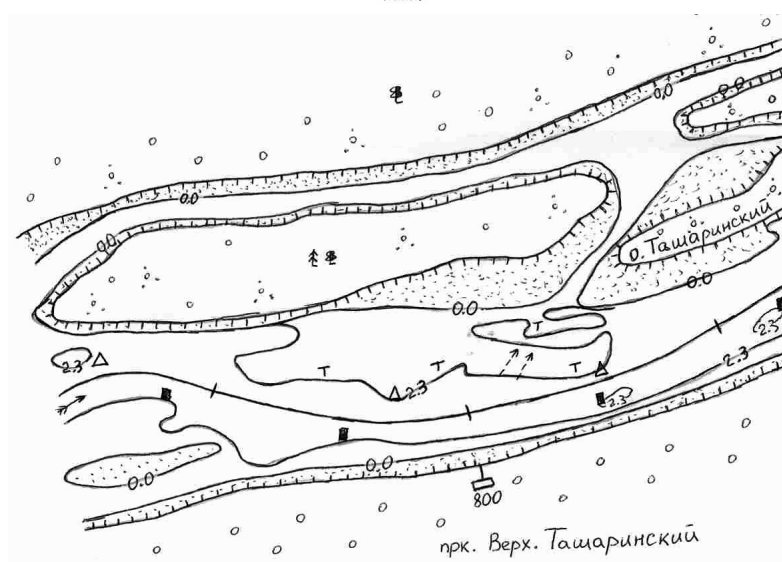


Рисунок 3 – Схема выправительных и дноуглубительных работ

Как известно, существующая дноуглубительная техника с целью повышения её технической эффективности является специализированной и предназначена для разработки либо песчаных грунтов (землесосы), либо глинистых и гравелисто-галечных (штанговые, многочерпаковые земснаряды).

Использование штанговых и многочерпаковых земснарядов для разработки песчаных грунтов приводит к резкому общему удорожанию работ и увеличению сроков разработки перекатов. В последнем случае возможны ситуации, когда многочерпаковый земснаряд не будет успевать обеспечивать требуемые габаритные размеры судового хода вследствие его интенсивной заносимости. Применение землесосов для разработки прорезей со сложными грунтами возможно с применением специальных технических устройств – разрыхлителей и снижением технической производительности.

При глубинном расположении грунтов важным фактором является решение задачи по увеличению существующих гарантированных габаритов судового хода, поскольку требуется разрабатывать подстилающие глинистые или гравелисто-галечные грунты на большую или впервые достигаемую глубину на перекате. В последнем случае требуется одноразовая разработка сложных грунтов и последующего её поддержания путём удаления поступающих сверху легкоподвижных песчаных грунтов. Следовательно, в дальнейшем при сохранении заданных габаритов пути и плановой стабилизации судоходной трассы возникает необходимость подчистки ранее разработанной прорези от песчаных наносов, т.е. эффективно использовать землесосы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чернышев, Ф.М. Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках судоходных рек / Ф.М. Чернышев. -Новосибирск: Новосиб. ин-т инженеров вод. трансп., 1973. -327 с.
- 2 Голышев, Н.В. Методы анализа распределения потоков на сложных участках рек / Н.В. Голышев, В.М. Ботвинков, С.В. Моторин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 199-204.
- 3 Гришанин, К.В. Теория руслового процесса / К.В. Гришанин. -М.: Транспорт, 1972. -216 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *перекат реки, судоходство*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Ботвинков Владимир Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Печеркин Сергей Владимирович, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

РЕГУЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА МНОГОРУКАВНЫХ УЧАСТКАХ РЕК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Ботвинков

REGULATION OF HYDRAULIC MODE ON MULTI-ARM SECTIONS OF RIVERS

Novosibirsk state academy of water transport

A.V. Botvinkov

Methods for regulating the hydraulic mode in the multi-arms sections of rivers.

Keywords: regulation, river

Рассмотрены методы для регулирования гидравлического режима в многорукавных участках рек.

При решении ряда инженерных задач, связанных с проектированием русловых и вдольбереговых инженерных сооружений, в большинстве случаев приходится обеспечивать требуемый расход воды в одном или нескольких рукавах из всего многорукавного разветвления [1, 2].

Решить эту задачу в общем случае можно за счёт использования различного рода выправительных сооружений и разработки капитальных прорезей.

При этом с гидравлической точки зрения, необходимо решить вопрос о перераспределении расходов воды в многоузловой системе многорукавного участка реки. Для двухузлового многорукавного участка подобная задача решена и не требует пересмотра. В общем случае на первом этапе решается задача о распределении расходов воды в бытовом состоянии. Далее, рассматривая систему исходных уравнений для решения задачи о распределении расходов воды по рукавам, принимаем известным расход воды в судоходном рукаве,

исходя из проектной необходимости и выбираем рукав, уменьшение расходов в котором позволяет перераспределить расход воды в пользу судоходного рукава [3, 4].

В результате решения системы уравнений получаем расходы воды во всех звеньях разветвления, а так же модуль расхода воды F для рукава, в котором необходимо уменьшить расход воды, и падение уровней свободной поверхности для каждого из рукавов разветвления.

По полученному значению модуля сопротивления и падению уровней воды для перераспределения расходов в намеченном рукаве необходимо выполнить инженерные мероприятия, отвечающие полученным требованиям.

Таковыми мероприятиями могут служить строительство выправительных сооружений: запруд, полузапруд, встречных шпор, отвалов грунта или их различные комбинации.

Наиболее просто такая задача решается для запруд, поскольку перепад уровней на них становится известным, а отметку гребня запруды можно однозначно определить из формулы водослива.

Устройство полузапруд требует определения их числа и параметров, исходя из обеспечения дополнительного сопротивления, путём последовательных приближений, варьируя размеры и количество сооружений.

Использование встречных шпор требует определения их длины по заранее намеченному их плановому положению. При этом приходится решать систему уравнений, скорректировав длину рукавов за счёт устройства встречных шпор.

В качестве примера решения подобной задачи рассмотрен многорукавный участок р. Обь. Схема этого разветвления приведена на рисунке.

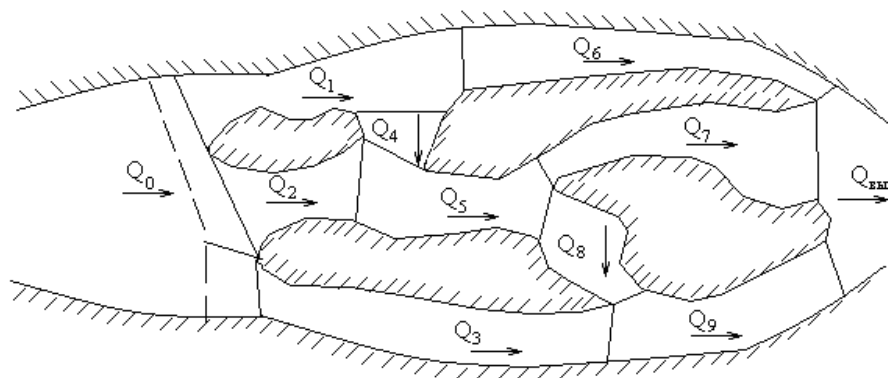


Рисунок – Схема многоузлового разветвления

Результаты расчётов распределения расходов воды при уровне воды, соответствующем расходу $Q_0 = 400 \text{ м}^3/\text{с}$, приведена в таблице.

Таблица – Результаты расчётов распределения расходов воды по рукавам

| № участка | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|--|-------|---------|---------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $F \cdot 10^{-6} \text{ с}^2/\text{м}^5$ | 2,2 | 0,8 | 0,8 | 14,5 | 0,2 | 21,8 | 46,5 | 0,017 | 0,023 |
| $Q, \text{ м}^3/\text{с}$ | 60,03 | 156,435 | 183,536 | 28,304 | 184,7 | 31,72 | 8,649 | 176,9 | 359,6 |

Таким образом, расходы воды перераспределились в пользу судоходных рукавов, проходящих по 3 и 9 участкам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Чернышев, Ф.М. Повышение эффективности путевых работ на многорукавных участках судоходных рек / Ф.М. Чернышев. -Новосибирск: Новосибир. ин-т инженеров вод. трансп., 1973. -327 с.
- 2 Боровков, В.С. Руслловые процессы и динамика руслловых потоков на урбанизированных территориях / В.С. Боровков. - Л.: Гидрометеиздат, 1989. -286 с.
- 3 Программный модуль для расчёта распределения расходов и построения свободной поверхности в многорукавном участке реки / Н.В. Голышев, В.М. Ботвинков, С.В. Моторин, А.В. Ботвинков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2012. -№1. -С. 158-162.
- 4 Голышев, Н.В. Методы анализа распределения потоков на сложных участках рек / Н.В. Голышев, В.М. Ботвинков, А.Ю. Лапай // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 199-203.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: регулирование, река
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ботвинков Антон Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА ДВИЖЕНИЯ ЦИКЛОНА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Сичкарев

THE REASONS OF ERRORS IN FORECAST MOTION OF CYCLONES

Novosibirsk state academy of water transport

V.I. Sichkarev

The forecast of motion cyclones sometimes is inadequacy precision. The reasons of errors in forecast are investigated in this article. The recommendations are given for navigators.

Keywords: cyclone, forecast, forecast's error, error's reasons, recommendation

Исследованы особенности движения циклонов северной части Тихого океана, приводящие к неудовлетворительной точности прогноза их перемещения методом функциональной экстраполяции. Намечены наиболее общие рекомендации по учёту выявленных особенностей для оценки перспектив точности прогноза.

Известная существенная гидрометеозависимость эксплуатации в море судов смешанного плавания формирует объективную необходимость в тщательном контроле прогностической информации, в том числе с помощью самостоятельного судоводительского прогноза гидрометеоусловий. Прогноз гидрометеоусловий для конкретного судна в первую очередь предполагает определение прогнозируемого перемещения синоптического объекта (СО). При этом точность прогноза движения СО в значительной степени определяет и точность прогноза гидрометеоусловий. Так, по исследованию [1], минимальный диаметр эллипсоподобных зон максимума волнения северной части Тихого океана (условия открытого океана без островов, льдов) в циклонах имеет вероятнейшее значение от 2 до 4°, а в антициклонах – от 2 до 3°. Следовательно, если ошибка прогноза будет превышать указанный размер, то существует вероятность занижения опасности прогнозируемых гидрометеоусловий.

Для оценки точности прогноза движения циклонов использованы данные о движении СО северной части Тихого океана, представленные в [4], которые составлены на основе обработки трёхмесячной подборки факсимильных карт приземного анализа за январь-март 2006 года. Используются также систематические расчёты, [2, 3], по прогнозу движения всех 67 циклонов из таблицы 2 [4]. В них в качестве предшествующего движения принимались скользящие группы из четырёх последовательных позиций каждого циклона; относительные координаты принимались как разность текущих и первых, и как разность текущих и предыдущих; использовались различные аппроксимирующие функции предшествующего движения циклонов. Лучшая точность была достигнута при логарифмической аппроксимирующей функции вида

$$\Delta\varphi = a_{\varphi} \ln t + b_{\varphi}; \Delta\omega = a_{\omega} \ln t + b_{\omega}, \quad (1)$$

где $a_{\varphi}, b_{\varphi}, a_{\omega}, b_{\omega}$ – коэффициенты аппроксимации, вычисляемые методом наименьших квадратов по стандартным компьютерным программам аппроксимации, а приращение координат вычислялись относительно первой позиции

$$\Delta\varphi_i = \varphi_i - \varphi_1; \Delta\lambda_i = \lambda_i - \lambda_1; \varphi_{cp} = \frac{\varphi_1 + \varphi_i}{2}; \Delta\omega_i = \Delta\lambda_i \cos \varphi_{cp}, \quad (2)$$

где φ_1, λ_1 – координаты начальной позиции СО;

φ_i, λ_i – координаты текущей позиции СО;

$\Delta\varphi_i, \Delta\omega_i$ – приращение широты и отшествия текущей позиции СО над начальной позицией.

Принятый способ скользящих групп из четырёх последовательных позиций каждого циклона позволил получить в общей сложности 2289 прогнозов для всех стадий развития циклонов при логарифмической аппроксимации. При этом метод наименьших квадратов обеспечивал выполнение необходимого сглаживания снятых с карт позиций циклонов.

Прогнозные координаты циклона вычислялись заданием времени t , соответствующим последующему времени приёма аналитической информации, что давало возможность вы-

числения ошибки прогноза по разности приращений координат

$$\Delta\varphi_{оши} = \Delta\varphi_{фактi} - \Delta\varphi_{прогнi}; \Delta\omega_{оши} = \Delta\omega_{фактi} - \Delta\omega_{прогнi}; C_i = \sqrt{\Delta\varphi_{оши}^2 + \Delta\omega_{оши}^2}. \quad (3)$$

Результаты статистической обработки систематических расчётов прогноза движения циклонов по (1) и (2) с вычислением ошибки прогноза по (3) представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Частота (в процентах) ошибки прогноза движения циклонов при логарифмической аппроксимации их начального движения (приращения координат рассчитаны относительно первого наблюдения) для указанной заблаговременности прогноза

| Ошибка прогноза | Заблаговременность прогноза, ч | | | | | |
|------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 6 | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 |
| 0-1° | 88,04 | 31,84 | 11,66 | 3,20 | 2,05 | 1,62 |
| 1-2° | 9,90 | 36,97 | 26,80 | 15,70 | 8,56 | 4,86 |
| 2-3° | 1,31 | 17,09 | 22,33 | 20,64 | 15,41 | 12,96 |
| 3-4° | 0,75 | 9,62 | 15,14 | 17,44 | 16,10 | 10,53 |
| 4-5° | – | 2,56 | 9,93 | 15,12 | 10,96 | 10,53 |
| 5-6° | – | 0,43 | 6,20 | 7,56 | 14,38 | 8,91 |
| 6-7° | – | 0,21 | 4,96 | 6,40 | 8,23 | 13,36 |
| 7-8° | – | 0,43 | 1,74 | 5,52 | 7,53 | 9,72 |
| 8-9° | – | 0,43 | 0,74 | 4,07 | 4,11 | 6,88 |
| 9-10° | – | – | 0,25 | 1,74 | 5,14 | 5,67 |
| ≥10° | – | 0,43 | 0,25 | 2,61 | 7,53 | 14,98 |
| Всего прогнозов | 535 | 468 | 403 | 344 | 292 | 247 |
| Средняя ошибка прогноза | 0,6 | 1,8 | 2,9 | 4,1 | 5,2 | 6,3 |
| СКО ошибки прогноза, градусы | 0,53 | 1,49 | 1,89 | 2,43 | 2,99 | 3,48 |

Как видно из таблицы 1, средняя ошибка прогноза в 1-2° в представленной лучшей аппроксимации возможна только с заблаговременностью не более 12 ч. При заблаговременности 36 ч даже лучшая логарифмическая аппроксимация с осреднением методом наименьших квадратов даёт среднюю ошибку прогноза 6,3°. При этом доля ошибок более 10° составляет около 15%; имеется довольно значительный разброс ошибок прогноза от 1 до 18°. Это обстоятельство выдвигает задачу исследования причин неудовлетворительной точности прогноза движения отдельных циклонов и выработки рекомендаций по заблаговременной оценке его точности.

Для анализа причин неудовлетворительной точности прогноза из систематического прогноза выбраны циклоны с наихудшим значением точности. С сохранением нумерации СО, приведённой в таблице 2 [4], это циклоны №13, 18, 21, 24, 40, 47, 55, 58, 59, 62.

Метеорологический анализ причин неточности прогнозов необходимо проводить в непосредственной связи с анализом развития циклонов и с анализом их взаимодействия с окружающей синоптической обстановкой. Для этого использованы подборки карт приземного анализа, на которых прослеживается развитие, трансформация СО и его взаимодействие с окружающей обстановкой. Пример прогноза движения СО и его фактического положения приведён на рисунке 1.

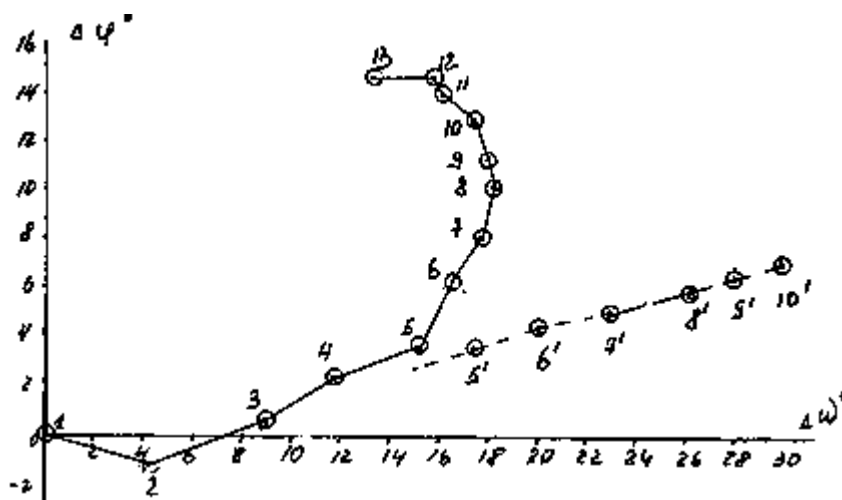


Рисунок 1 – Фактическое движение СО №24 и его прогноз

Сводка метеорологических причин изменения характера движения циклонов и кинематических последствий метеорологических причин представлена в таблице 2.

Анализ таблицы 2 показывает, что формальной причиной неточности прогнозов является значительное изменение характера движения СО (в виде увеличения или уменьшения

СУДОВОЖДЕНИЕ

скорости, изменения кривизны траектории) в прогностический период по сравнению с аппроксимационным.

Таблица 2 – Метеорологические причины изменения характера движения циклонов и кинематические причины неточности прогноза

| № СО | Метеорологическая причина изменения характера движения циклона и неточности его прогноза | Кинематические причины неточности прогноза |
|------|--|--|
| 13 | Углубление молодого циклона, слияние с соседним циклоном, взаимодействие с западной периферией антициклона | Медленное движение в аппроксимационный период; резкое увеличение скорости фактического движения в прогностический период |
| 18 | Углубление молодого циклона, взаимодействие с обширной областью низкого давления | Резкое увеличение скорости на начало прогностического периода с отклонением траектории от первоначальной кривизны |
| 21 | Заполнение, угасание, распад старого циклона | Резкая смена направления движения в начале прогностического периода |
| 24 | Взаимодействие и объединение с малоподвижной обширной областью низкого давления | Резкое уменьшение скорости на начало прогностического периода |
| 40 | Углубление молодого циклона и его взаимодействие с суши и с обширной областью высокого давления | Резкие колебания скорости и направления движения |
| 47 | Углубление циклона и его слияние с областью низкого давления | Резкое увеличение скорости и уменьшение кривизны траектории |
| 55 | Углубление циклона, взаимодействие с западной периферией антициклона | Увеличение скорости в прогностическом периоде |
| 58.1 | Значительное углубление циклона в процессе сближения и слияния с другими циклонами | Резкое увеличение скорости на начало прогностического периода |
| 58.2 | Заполнение старого циклона, подход к обширной малоподвижной области высокого давления с юга | Общая неустойчивость движения: изменяющееся направление и скорость движения |
| 59 | Углубление циклона, взаимодействие с западной периферией области высокого давления | Увеличение скорости в прогностическом периоде |
| 62 | Взаимодействие с западной периферией антициклона | Значительное увеличение скорости в прогностическом периоде |

Среди метеорологических причин просматриваются несколько типичных случаев развития синоптических процессов, связанных со стадией жизненного цикла СО, или с взаимодействием однородных СО, или с взаимодействием циклона с западной периферией антициклона, или с взаимодействием циклона с южной периферией антициклона. Эти взаимодействия синоптических объектов складываются с общеметеорологическим фоном широтного переноса воздушных масс, обуславливающего наличие составляющей вектора скорости СО на восток.

Неоднозначность метеорологических причин требует выполнения общего анализа синоптической обстановки региона, который может быть схематизирован следующим образом.

Общий метеорологический фон в средних северных широтах Тихого океана – это тропосферное движение на ENE. На это фоновое движение накладываются определённые возмущения:

- увеличение скорости циклона, как правило, связано с углублением молодого циклона;
- уменьшение скорости циклона связано с его старением, заполнением, объединением с обширной малоподвижной областью низкого давления;
- уменьшение скорости циклона связано с взаимодействием с южной периферией обширного антициклона, в которой направление ветра с востока тормозит составляющую фонового движения циклона на восток;
- увеличение скорости и увеличение северной составляющей скорости циклона (приводящее к изменению кривизны траектории) связано с его взаимодействием с западной периферией обширного антициклона, в которой направление ветра на север усиливает северную составляющую скорости циклона;
- изменение кривизны траектории циклона связано с изменением какой-либо составляющей скорости движения циклона, либо с взаимодействием с суши, когда смена характера взаимодействия атмосферы с подстилающей поверхностью начинает влиять на характер движения СО.

Выполненный анализ движения циклонов, метеорологических причин изменения характера их движения и кинематических показателей этого движения позволяет сделать следующие выводы.

1. Выполненному полуторасуточному прогнозу может быть дана качественная оценка ожидаемой точности путём анализа общей синоптической обстановки.

Если прогнозируемый циклон – молодой и развивающийся, и если его можно рассматривать как самостоятельный синоптический объект (его барическое поле не взаимодействует с барическими полями соседних СО), то следует ожидать дальнейшего его углубления, а вместе с углублением – увеличения модуля скорости и, соответственно, снижения точности прогноза на большую заблаговременность.

Если прогнозируемый циклон – старый, глубокий, с обширными фронтами, со значительным фронтом окклюзии, следует ожидать замедления скорости его движения и, соответственно, снижения точности прогноза на большую заблаговременность.

Если молодой циклон нельзя рассматривать без влияния суши, то она может изменить характер движения циклона и снизить точность прогноза.

Если в окрестности пути молодого циклона встречаются другие СО, то имеется вероятность следующих изменений в характере его движения.

Циклон может сближаться с другими областями низкого давления, образуя более или менее обширную многомодальную область низкого давления или даже сливаться в единую область низкого давления. При этом, если другие области низкого давления малоподвижны, то вероятно уменьшение скорости движения прогнозируемого циклона, а если другие области низкого давления достаточно подвижны, то вероятно увеличение скорости прогнозируемого циклона.

Циклон может взаимодействовать с догоняемой областью высокого давления на его западной или южной периферии.

На западной периферии вероятно увеличение северной составляющей скорости его движения с соответствующим изменением характера траектории и точности прогноза.

При взаимодействии с южной периферией вероятно уменьшение восточной и северной составляющих скорости движения циклона, что влияет на изменение характера движения и точности прогноза.

2. Множество метеорологических причин, влияющих на характер движения циклонов, при использовании методов формальной функциональной экстраполяции их известного предшествующего движения на прогностические сроки проявляется только в виде ограниченного набора кинематических характеристик движения: модуля скорости и кривизны траектории. Это обстоятельство позволяет судоводителю легко контролировать ожидаемую точность полуторасуточного прогноза после принятия карт приземного анализа на 1-2 первых выполненных прогностических срока.

Если на этих картах приземного анализа характер движения прогнозируемого циклона существенно не меняется, то можно ожидать, что полуторасуточный прогноз окажется достаточно точным.

Если на полученных картах приземного анализа характер движения прогнозируемого циклона существенно изменился, то имеется большая вероятность плохой точности сделанного ранее полуторасуточного прогноза. Учитывая, что точность прогнозов значительно повышается с уменьшением заблаговременности, в этом случае рекомендуется составить новый прогноз с использованием вновь полученных карт приземного анализа.

3. Когда одним из мотивов выполнения собственного прогноза является определение степени доверия к полученному гидрометеорологическому прогнозу, выполняемому гидрометцентрами, судоводителям может быть дана следующая рекомендация.

Выполненный собственный прогноз подвергается анализу на вероятное взаимодействие с окружающей синоптической обстановкой и делается вывод о возможной величине и направлении отклонения положения СО от прогнозируемого положения. Это вероятное положение СО сравнивается с полученным прогнозом гидрометцентра. Если различие положений СО по прогнозу гидрометцентра и собственного прогноза превышает 5° , то к обоим прогнозам следует относиться с недоверием. Если различие меньше 5° , то прогнозу гидрометцентра можно доверять.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сичкарев, В.И. Исследование волновых полей зон максимума волнения северной части Тихого океана / В.И. Сичкарев,

А.П. Маркин. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2009. -137 с.

2 Сичкарев, В.И. Выбор лучшей по точности прогноза аппроксимации движения циклона / В.И. Сичкарев, В.П. Умрихин, Е.К. Мунарева // Судовождение-2010: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 68-89.

3 Сичкарев, В.И. Прогноз движения циклона и относительного перемещения судна в его ветро-волновом поле / В.И. Сичкарев, А.П. Маркин, В.П. Умрихин. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -101 с.

4 Сичкарев, В.И. Идентификация, движение и эволюция синоптических объектов северной части Тихого океана / В.И. Сичкарев, А.П. Маркин. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2010. -85 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *циклон, прогноз, ошибка прогноза, причины ошибок, рекомендации*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

УЧЁТ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ СУДНА НА ПОВОРОТЕ РЕКИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.В. Саленек

INFLUENCE THE RIVER FLOW VELOCITY FOR VESSEL TRAFFIC ON TURNING

Novosibirsk state academy of water transport

V.V. Salenек

Introduced the concept of the fall speed of the vessel similar to the decrease in the speed in calm water when driving on a curved path. Also, in view of the results previously obtained by the author calculate drift angle and the bandwidth of the channel is occupied by the vessel in the cornering of the river, which is basic to the solution of questions of rationing ship sizes in the plan.

Keywords: drop in vessel speed, drift angle, flow rate, regulation size courts to

Введено понятие падения скорости движения судна по аналогии с падением скорости на спокойной воде при движении на криволинейной траектории. Также с учётом ранее полученных автором результатов, даются методы расчёта угла дрейфа и ширины полосы судового хода, занимаемой судном при движении на повороте реки, что является основным при решении вопросов нормирования габаритов судов в плане.

При решении задач управляемости с учётом скорости течения неизбежно встаёт вопрос, что при этом считать падением скорости. Традиционно, при изучении управляемости судна на спокойной воде за падение скорости принимается отношение скорости движения судна на криволинейной траектории к скорости судна на прямолинейной траектории, то есть до перекладки рулевого органа при неизменном режиме работы двигателя (двигателя). Тогда на течении (на повороте реки), следуя вышесказанному, за падение скорости на циркуляции (криволинейной траектории) следует принять:

$$\Theta_c = \frac{v + c}{v_0 + c}, \quad (1)$$

где v – скорость движения судна относительно воды на криволинейной траектории;

v_0 – скорость движения судна относительно воды на прямолинейной траектории до перекладки рулевого органа;

c – скорость течения, традиционно, со знаком «плюс» при движении вниз по течению и со знаком «минус» при движении вверх по течению.

Поделив в выражении (1) числитель и знаменатель на v_0 , получим его в безразмерных переменных:

$$\Theta_c = \frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}}, \quad (2)$$

где Θ – падение скорости при криволинейном движении на спокойной воде

$$\Theta = \frac{v}{v_0};$$

\bar{c} – отношение скорости течения к скорости прямолинейного движения судна, то есть к скорости движения до перекладки рулевого органа

$$\bar{c} = \frac{c}{v_0}.$$

Принимая для грузовых судов на установившейся циркуляции выражение θ из [1], где оно названо относительной скоростью, в виде

$$\Theta = (1 + 2,7\Omega^2)^{-2/3}, \quad (3)$$

получим выражение (2) в виде

$$\Theta_c = \frac{(1 + 2,7\Omega^2)^{-2/3} + \bar{c}}{1 + \bar{c}}, \quad (4)$$

где Ω – безразмерная угловая скорость на установившейся циркуляции (величина, обратная мере поворотливости)

$$\Omega = \frac{L}{R};$$

R – радиус установившейся циркуляции.

Зависимость (4) представлена в графическом виде на рисунке 1.

Далее, учитывая выводы, полученные автором в [2] относительно аналитической связи между безразмерными кинематическими параметрами на установившейся циркуляции на спокойной воде в виде

$$\beta = \Theta \cdot \Omega \quad (5)$$

и распространяя это на случай движения судна на повороте реки, получим

$$\beta_c = \Theta_c \cdot \Omega, \quad (6)$$

где β_c – угол дрейфа судна при движении на повороте реки.

С учётом выражения (4) формула (6) для грузового судна примет вид

$$\beta_c = \Omega \frac{(1 + 2,7\Omega^2)^{-2/3} + \bar{c}}{1 + \bar{c}}. \quad (7)$$

Зависимость (7) представлена в графическом виде на рисунке 2.

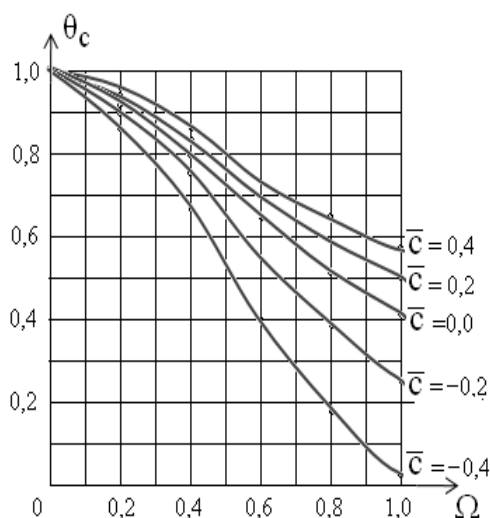


Рисунок 1 – Зависимость $\Theta_c = f(\Omega, \bar{c})$

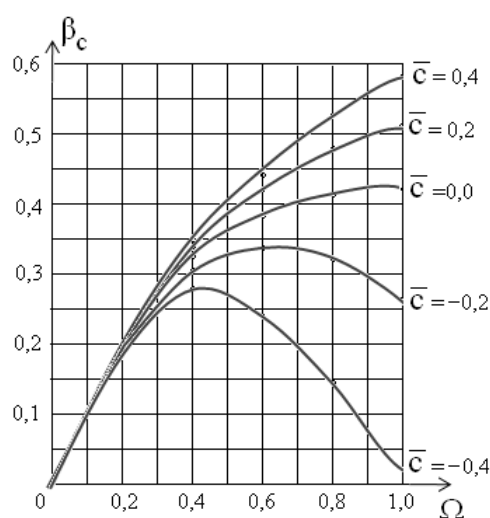


Рисунок 2 – Зависимость $\beta_c = f(\Omega, \bar{c})$

Из рисунка 2 видно, что угол дрейфа при движении вниз по течению возрастает при той же величине радиуса поворота, что и радиуса циркуляции на стоячей воде. При движении вверх по течению угол дрейфа уменьшается и тем интенсивнее, чем больше скорость течения и круче поворот. Более того, при некоторых значениях скорости течения и радиуса поворота он может стать равным нулю, что и видно на рисунке 2 при $\Omega = 1,0$ и $\bar{c} = 0,4$, где угол дрейфа почти равен нулю.

Вышесказанное полностью соответствует тому качественному выводу, который делает Павленко В.Г. в [1] из сравнения уравнений движения судна на циркуляции в установившемся периоде на спокойной воде и соответствующими уравнениями движения на течении.

Кроме того следует сказать, что по аналогии с движением судна на спокойной воде, когда аналитическая связь между β и Ω , полученная в результате решения уравнения движения, не зависит от величины и качества рулевого органа, а соответствующая графическая зависимость называется корпусной диаграммой, то и рисунок 2 можно назвать корпусной диаграммой судна при движении на течении.

Перейдём к вопросу нормирования габаритов судов в плане и воспользуемся результа-

тами, полученными автором в [3] для случая движения на спокойной воде в виде

$$\frac{b_0}{L} = \frac{B}{L} (1 - \Theta^2 \Omega^2) + \Theta \cdot \Omega, \quad (5)$$

где B, L – расчётные главные размерения судна;

b_0 – ширина полосы судового хода, занимаемая судном при движении по повороту на спокойной воде.

Подставляя в (5) величину θ из (2), получим выражение для определения ширины полосы судового хода, занимаемой судном при движении по повороту реки

$$\frac{b_{0c}}{L} = \frac{B}{L} \left[1 - \left(\frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}} \right)^2 \Omega^2 \right] + \frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}} \Omega. \quad (6)$$

Учитывая, что $\Theta = f(\Omega)$, из выражения (6) видно, что

$$\frac{b_0}{L} = f\left(\frac{B}{L}, \Omega, \bar{c}\right). \quad (7)$$

Расчёты по развёрнутому выражению (7) могут быть заменены значительно более простым процессом по определению ширины полосы судового хода на повороте реки с использованием заранее построенных графических зависимостей при переборе возможных величин $\frac{B}{L}, \Omega, \bar{c}$. Для примера, на рисунке 3 приведена такая графическая зависимость для $B/L = 0,2$ и перебор возможных значений Ω, \bar{c} .

Из рисунка 3 видно, что при $\Omega = 1$ и $\bar{c} = -0,4$ (движение вверх по течению) величина $b_0 \cong 0,2L$, что соответствует $\beta_c \cong 0$. Это согласуется с данными рисунка 3.

Для ответа на вопрос: при каких условиях в случае движения судна вверх по течению на повороте реки угол дрейфа станет равным нулю, можно воспользоваться выражением, полученным из (6) при подстановке в него выражения (2)

$$\beta_c = \frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}} \Omega. \quad (8)$$

Из (8) видно, что β_c будет равен нулю при равенстве нулю одного из сомножителей, то есть Ω или $\frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}}$.

При $\Omega = 0$ судно идёт по прямолинейной траектории и при этом угол дрейфа естественно равен нулю.

Сомножитель $\frac{\Theta + \bar{c}}{1 + \bar{c}}$ будет равен нулю в случае равенства нулю числителя и с учётом того, что судно движется против течения, можно записать

$$\Theta = \bar{c}. \quad (9)$$

Записывая выражение (9) в размерном виде будет иметь

$$v = c \quad (10)$$

Из выражения (10) видно, что судно остановится относительно берега и угол дрейфа при этом будет равным нулю, когда скорость движения относительно воды будет равна скорости течения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ходкость и управляемость судов /под ред. В.Г. Павленко. -М.: Транспорт, 1991. -397 с.
- 2 Саленек, В.В. Альтернативный способ построения диаграммы управляемости судна / В.В. Саленек // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. 2012. -№1. -С. 218-219.
- 3 Саленек, В.В. К вопросу нормирования габаритов судов и составов в плане / В.В. Саленек // Судовождение-2012: сб. науч. тр. /Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2012. -С. 56-59.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: падение скорости движения судна, угол дрейфа, скорость течения, нормирование габаритов судов в плане

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Саленек Валерий Владимирович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

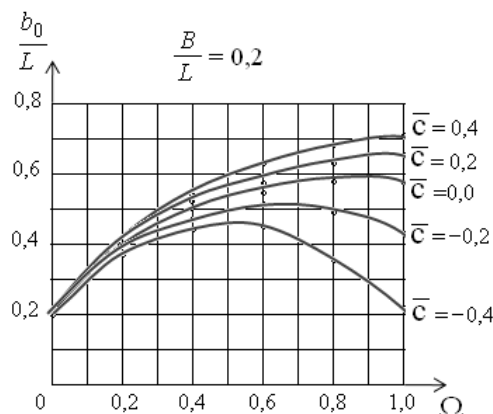


Рисунок 3 – Зависимость $b_0/L = f(\Omega, \bar{c}, B/L = 0,2)$

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОГИБА КОРПУСА СУДНА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Осипов

DEFINITION OF VESSEL HULL FLEXURE PARAMETERS

Novosibirsk state academy of water transport

V.I. Osipov

In work the variant of simple system of vessel hull flexure measurement with use of the tense cable and the specific deviation transducer of a cable with the raised reliability, having two degree of freedom is offered. The question on oscillation suppression of a cable on own frequency is especially selected.

Keywords: maritime safety, vessel, beam deflection, measuring

Предложен вариант простой системы измерения прогиба корпуса судна с использованием натянутого троса и специфического датчика отклонения троса повышенной надежности, имеющего две степени свободы отклонения. Особо выделен вопрос о подавлении колебаний троса на собственной частоте.

Деформации корпуса судна на волнистой поверхности, из которых в первую очередь следует выделить прогиб и в меньшей степени – перегиб корпуса на гребнях волн, могут привести к необратимым разрушениям с катастрофическими последствиями.

К сожалению, даже опытный судоводитель зачастую лишь интуитивно может оценить степень опасности, грозящей в данный момент судну, попавшему в затруднительную ситуацию сильного волнения. В связи с этим крайне необходимы средства текущего измерения прогиба, способные предупреждать экипаж о наличии деформаций, близких к предельным. Такая информация может служить основанием для принятия оперативных мер обеспечения безопасности.

Хорошо известно, что в настоящее время таких средств на транспортном флоте практически нет.

В данной работе предлагается вариант реализации системы измерения прогиба (перегиба) корпуса судна с использованием принципиально простого метода. Его сущность поясняется на рисунке 1.

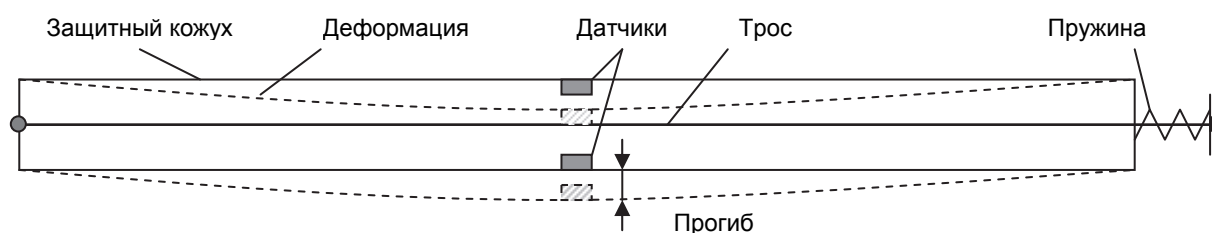


Рисунок 1 – Условная схема способа измерения прогиба

На рисунке 1 условно изображен защитный кожух, в действительности представляющий собой прочный стальной короб, приваренный к корпусу судна на его прямолинейном участке. Внутри кожуха по его середине размещается стальной трос, жестко закрепленный с одной стороны (на схеме слева) и растянутый сильной пружиной с другой. Ориентировочный диаметр троса – 5 мм. Натяжение троса должно быть максимальным вплоть до значения, близкого к пределу прочности.

Принцип измерения прост: при наличии прогиба (перегиба) корпус судна деформируется вместе с защитным кожухом, а стрела провеса троса при этом не изменяется из-за достаточно постоянной силы его натяжения, обеспеченной пружиной.

Реализация указанного принципа связано с необходимостью решения ряда технических задач, касающихся как конструктивного исполнения кожуха и троса, так и разработки специфического датчика отклонения троса.

Наилучшим местом монтажа троса, очевидно, является внутренняя часть корпуса судна около бортовой обшивки под палубой. В этом случае может отпасть необходимость в защитном кожухе. Если этот вариант неприемлем, то следует рассмотреть возможность уста-

новки нескольких укороченных секций. Следует заметить, что короткий трос будет иметь меньшее отклонение от деформированного корпуса, что снизит чувствительность измерителя, однако этот факт не является серьезным препятствием, поскольку чувствительность может быть увеличена другими средствами. В ряде случаев секционирование может быть предпочтительнее, поскольку решает поставленную задачу – получение информации о величине опасных механических напряжений в корпусе и их локализации.

В общем же случае при монтаже троса в кожухе его конструкция может соответствовать изображенной на рисунке 2.

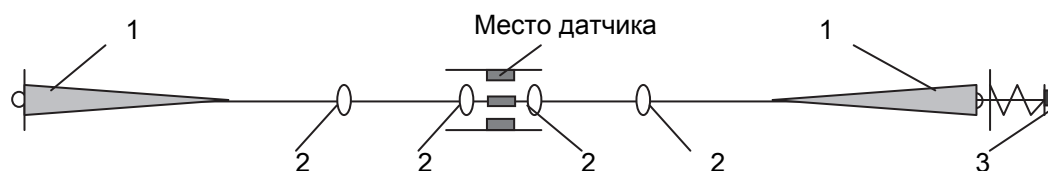


Рисунок 2 – Конструкция троса

На рисунке 1 схематично изображены гасители колебаний 1, которые непременно могут возникнуть в натянутом тросе, особенно, в штормовую погоду. Эти гасители представляют собой конусы из легкого эластичного материала, например, из микропористой резины. По длине троса в средней его части должны устанавливаться легкие защитные ролики, препятствующие повреждению троса, стенок кожуха и, особенно, элементов датчика при больших отклонениях как в вертикальной, так и в горизонтальной плоскостях (деформация корпуса может быть и горизонтальной). При отсутствии защитного кожуха достаточно минимум двух роликов для защиты датчика.

На рисунке 3 приведена фотография макета датчика, выполненного приблизительно в масштабе 1:3-1:2, предназначенного для лабораторного исследования основных свойств и оценки возможности его реального применения. Принципиально датчик является вариантом дифференциального трансформаторного преобразователя, в котором роль центрального магнитопровода выполняет упомянутый трос. Основными особенностями этого датчика в сравнении с распространенными конструкциями являются следующие:

- сравнительно большой диапазон перемещения подвижной части (порядка ± 10 см);
- две степени свободы отклонения, причем перемещения в горизонтальной плоскости не должны влиять на сигнал вертикального (измеряемого) отклонения;
- необходимость достижения достаточной чувствительности и линейности преобразования при сохранении стабильности параметров в тяжелых условиях эксплуатации;
- высокая прочность и долговечность элементов конструкции.

На рисунке 3 обозначено: 1-первичная обмотка трансформатора, размещенная на тросе 3 выполнена с минимальным диаметром обмотки для увеличения диапазона возможного перемещения. Обмотка питается низким напряжением 6 В (50 Гц). Параметры обмотки выбраны из условия приближения материала троса к насыщению при допустимом нагреве. В указанной модели стальной трос диаметром 4 мм насыщается при намагничивающей силе порядка 300 А-вит.

Две вторичные обмотки 2 имеют плоскую конструкцию для расширения диапазона вертикального перемещения троса. Ширина этих обмоток соответствует предполагаемому перемещению троса в горизонтальной плоскости. Все обмотки должны быть залиты (пропитаны) эпоксидным компаундом (в показанном макете пропитки отсутствуют).

Диаметры защитных роликов 4 должны быть достаточными для предотвращения касания обмоток в крайних положениях.

Характеристики указанного преобразователя во многом зависят от конструкции магни-

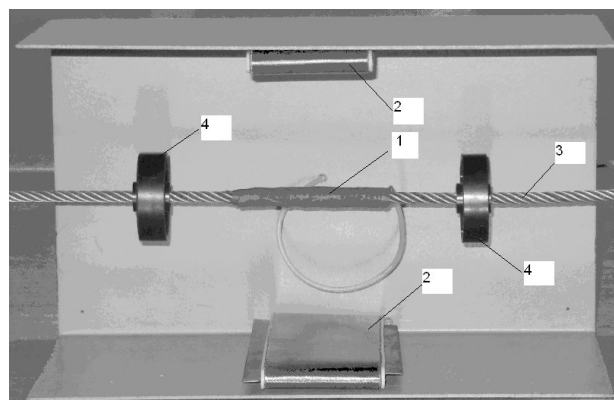


Рисунок 3 – Конструкция макета датчика

топровода вторичных обмоток.

На рисунке 4 показаны характеристики преобразования, снятые с датчика путем перемещения троса в вертикальном направлении в пределах ± 5 см и регистрации выходного напряжения с помощью милливольтметра ВЗ-33.

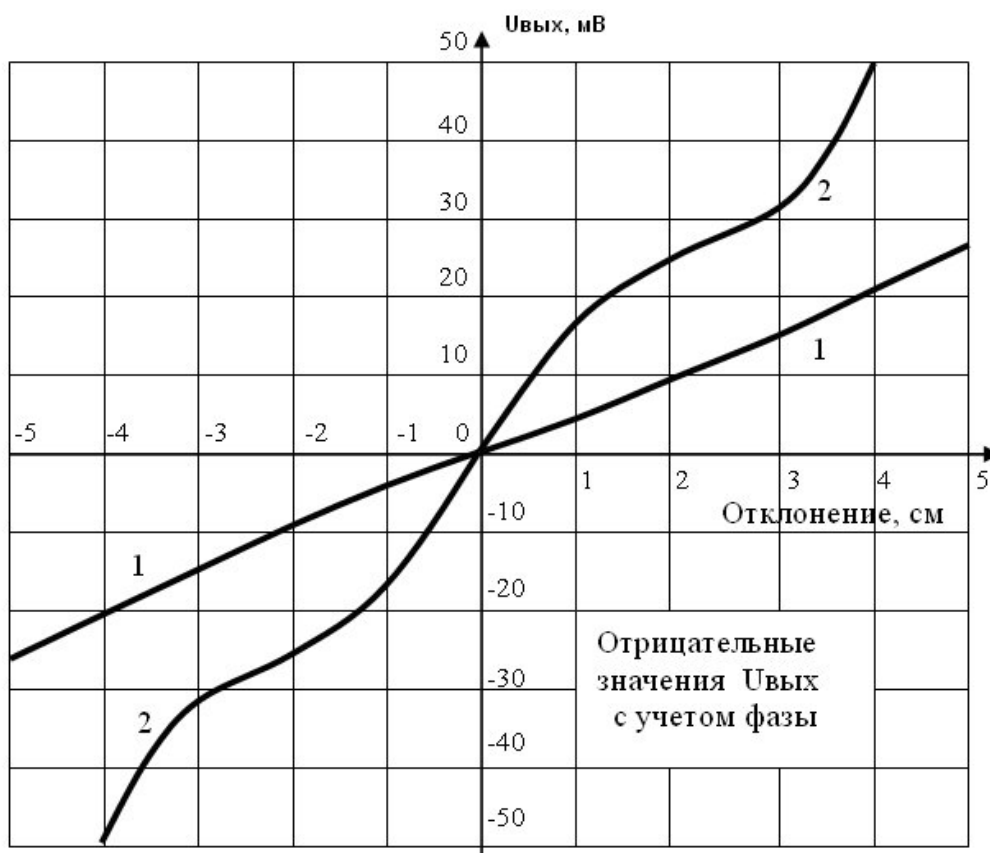


Рисунок 4 – Характеристики преобразования датчика

На рисунке 4 кривая 1 снята при отсутствии во вторичных обмотках ферромагнитного сердечника. Введение сердечников из трансформаторной стали с явно выраженными полюсами существенно повышает чувствительность, однако сильно увеличивает нелинейность характеристики, особенно при непосредственной близости троса к катушкам.

В связи с этим более приемлемым вариантом можно считать первый, а недостаток чувствительности вполне компенсируется усилением в электронной части прибора. Тем не менее, введение сердечников в катушки может быть оправдано для небольшой коррекции характеристики. Разумеется, чувствительность (и коэффициент преобразования) определяются обмоточными данными всех катушек, то есть коэффициентом трансформации.

Приведенный выше способ измерения предполагает наличие функциональных элементов приведенных на рисунке 5.



Рисунок 5 – Структура устройств

1) Датчик своим магнитным полем наводит во встречно включенных катушках ЭДС, приближенно пропорциональную отклонению троса от среднего положения.

2) ФЧВ – фазочувствительный выпрямитель (или фазочувствительный усилитель) преобразует сигнал датчика 50 Гц в сигнал постоянного тока разной полярности.

3) ФНЧ – фильтр низких частот, подавляющий высокочастотные составляющие сигнала, обусловленные в первую очередь возбуждением колебаний в натянутом тросе с его собственными частотами.

венной частотой. Частота среза такого фильтра должна быть несколько выше наибольшей вероятной частоты изгиба корпуса на волнении (ориентировочно 0,2 Гц для крупных судов). При этом предполагается, что собственная частота троса значительно выше.

4) ОУ – отсчетное устройство. В простейшем случае это – стрелочный вольтметр.

Особо следует выделить вопрос о фильтрации, поскольку вибрации троса на собственной частоте могут быть значительными. Для возможности реализации ФНЧ следует оценить величину собственной частоты колебаний троса (по первой гармонике)

$$f_0 = \frac{1}{Ld} \sqrt{\frac{F}{\pi\rho}}, \quad (1)$$

где L – длина троса;
 d – диаметр троса;
 F – сила натяжения;
 ρ – плотность материала.

Выберем для примера следующие значения: $L = 50$ м; $d = 5$ мм; $F = 15000$ Н (средняя величина предела прочности стальных тросов $\varnothing 5$ мм). Плотность материала не равна плотности стали, – она находится по справочным данным веса погонного метра. Для троса $\varnothing 5$ мм следует выбрать $\rho = 5,1$ кг/дм³. Подставив выбранные данные, получаем значение $f_0 = 3,87$ Гц.

Разумеется, натягивать трос с максимально допустимой силой нельзя. Выбрав запас прочности равный 2 ($F = 7500$ Н) получим значение $f_0 = 2,76$ Гц. Это значение на порядок выше наибольшей частоты прогибов и, следовательно, сигналы вибрации троса вполне могут быть отфильтрованы.

Рассмотрение формулы (1) приводит к выводу, что при выборе F в долях от предела прочности, величина f_0 не зависит от диаметра троса. Следует также заметить, что длина троса, равная 50 м является, пожалуй, близкой к предельной для возможности эффективной фильтрации. Этот факт лишний раз свидетельствует в пользу секционирования указанных измерителей.

Более совершенная система может быть выполнена с применением микроконтроллера (МК) со встроенным или дополнительным аналого-цифровым преобразователем. Такая система может эффективно реализовать частотную фильтрацию сигнала и, главное – содержать тарировочную таблицу для линеаризации всего тракта измерения.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: безопасность судоходства, судно, деформация корпуса, измерения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Осипов Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СМЕЩАЮЩИХСЯ ГРУЗОВ С ДИСКРЕТНОЙ РАСПОРНОЙ СТРУКТУРОЙ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
 им. адм. Г.И. Невельского»

Т.Е. Маликова, А.С. Шпак

THEORETICAL MODEL OF SHIFTING CARGO WITH DISCRETE TOMMING STRUCTURE
 Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 T.E. Malikova, A.S. Shpak

The paper covers issues of safe deck cargo transportation. In particular, a theoretical model of the process of shifting the goods tommed up by means of a discrete tomming structure is proposed to be used as a transition to the analytical model of the connected system of «shifting cargo – special securing device».

Keywords: shifting cargo, regulator, theoretical model, modelling

Рассмотрен вопрос безопасной перевозке смещающихся грузов на палубе судна. В частности, предложена теоретическая модель процесса смещения груза с дискретной распорной структурой, которая используется для перехода к аналитической модели связанной системы «смещающийся груз – спецустройство».

Вопросы обеспечения безопасности плавания судов со смещающимися грузами и обес-

печения сохранности таких грузов при перевозке постоянно находятся в поле зрения специалистов и решаются как в рамках правил и нормативных документов, как отдельных стран, так и через Международную морскую организацию. Однако все попытки решения данной проблемы одним каким-либо способом до сих пор не увенчались успехом. Аварии и аварийные происшествия на судах из-за смещения грузов происходят постоянно, о чем свидетельствуют статистические данные страховых обществ. Всякие попытки отказа от крепления смещающегося груза или их несоответствие существующим требованиям всегда приводили к нежелательным последствиям. Большинство известных способов крепления смещающихся грузов на судах имеют ряд недостатков. И самые важные из них это трудоемкость крепления, что значительно увеличивает время погрузки судна в порту, и необходимость проверки креплений во время рейса.

В Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского авторами выполнены комплексные исследования и разработаны новые технологии крепления грузов на морских судах. Основным исходным положением при разработке новых технологий является регулирование смещаемости грузов с использованием пневморегуляторов. При этом избыточное давление воздуха внутри пневморегулятора должно удовлетворять определенным требованиям, соответствующим заданному условию регулирования смещаемости определенного вида груза. Для автоматического слежения за состоянием груза и поддержания необходимых параметров крепежных устройств была разработана математическая модель механической системы «смещающийся груз-спецстройство». В качестве теоретического аппарата для математического моделирования было предложено использовать теорию графов. При этом возникла необходимость разработать теоретическую модель, описывающую процесс смещения груза на палубе судна, с использованием трех элементов: массы, упругого и диссипативного элементов.

По механической модели смещения все виды смещающихся грузов условно можно разделить на три группы: абсолютно твердое тело (контейнеры, ролл-трейлеры, крупногабаритные и другие, так называемые, грузовые места); сплошная связно-сыпучая среда (навалочные и зерновые); дискретная структура (пакеты, металлопрокат, чугун в чушках, металлолом и др.). Грузы, близкие к состоянию абсолютно твердого тела, находятся на транспортном модуле под действием сил, не зависящих от свойств самого груза. В статических условиях твердые грузы обладают постоянной формой и на горизонтальной плоскости неподвижны. В противоположность этому, грузы, при укладке которых на транспортном модуле образуются дискретные (составленные из отдельных элементов) структуры – массивы (штабели), могут сохранять выбранную форму на горизонтальной поверхности лишь при определенных условиях. В качестве измерителя способности штабеля структурообразующего груза противостоять смещению применяется угол статической устойчивости структуры – острый угол между горизонтальной плоскостью и наклоняемым основанием структуры в момент начала ее разрушения в любой форме: опрокидывания, соскальзывания или потери устойчивости структуры.

Грузы, состоящие из отдельных более или менее крупных и однородных частиц (зерновые и навалочные) занимают промежуточное положение между твердыми и дискретными грузами. Они образуют сплошную связно-сыпучую среду с постоянными или закономерно и непрерывно изменяющимися физическими и механическими свойствами. Обладая ограниченной подвижностью частиц, сохраняют свою форму лишь в том случае, если их частицы находятся под определенным углом к друг другу. Значение этого угла можно использовать в качестве критерия для определения подвижности связно-сыпучих сред. Таким образом, сыпучие грузы можно рассматривать как частный случай дискретных структур. Их можно представить в виде совокупности одинаковых, не имеющих сцепления, малоразмерных дисков, образующих дискретные структуры – массивы, смещающиеся относительно друг друга. При этом распределение усилий в массиве груза от элемента к элементу происходит через точечные контакты, и поэтому дискретную структуру в данном случае следует рассматривать как распорную среду.

Твердые смещающиеся грузы также могут образовывать на транспортном модуле различные дискретные структуры (штабели) как распорные (штабель труб), так и безраспорные (тарированные грузы). Отличие безраспорной дискретной структуры от распорной состоит в том, что распределение усилий в массиве груза от элемента к элементу происходит через плоскостные контакты, при этом внутри массива груза не возникает распора, за счет которого происходит раздвигание элементов нижележащего ряда и внедрение элементов верхнего

ряда в ниже расположенный ряд.

Представленные таким образом локальные модели вписываются в глобальную дискретную модель всех смещающихся грузов, состоящую из жестких тел, связанных между собой упругими элементами, допускающими некоторое перемещение тел относительно друг друга, граничными зонами перемещений которых определяется распорная и безраспорная фазы смещения грузов. Такие системы полностью определяются заданием координат конечного числа тел, составляющих систему, связанных между собой упругими и диссипативными элементами. Поэтому любая система, моделирующая процесс смещения груза при произвольных внешних воздействиях, может рассматриваться как упругая система с конечным числом степеней свободы.

Для разработки теоретической модели смещающихся грузов с дискретной распорной структурой были рассмотрены локальные модели смещающихся грузов. Дискретные модели смещающихся грузов типа зерновых приведены в работах [1, 2]. В этих моделях сыпучие грузы представлены как дискретные среды, состоящие из совокупности одинаковых, не связанных между собой, дисков, малых по сравнению с объемом всего груза. Выделяют для рассмотрения группы частиц по три в каждой, с помощью которых полностью описывают движение сыпучих грузов. Теоретические модели штабеля труб для расчета допустимых нагрузок на судовые конструкции приводит в своих работах Карпович Е.Б. [3, 4]. В качестве теоретической модели трубы он использует абсолютно твердые диски одинакового диаметра, соприкасающиеся по всей длине линий контактов. При этих допущениях условия взаимодействия труб в штабеле не зависят от их длины и задача сводится к плоской, то есть к рассмотрению поперечного сечения штабеля. В данной постановке задачи физическая модель, описывающая распределение интенсивности нагрузки, оказываемой штабелем труб на горизонтальную опорную поверхность, может быть сведена к физической модели дискретной среды, состоящей из совокупности одинаковых, не связанных между собой, дисков.

Изучив и обобщив методику моделирования процесса смещения груза, имеющего дискретную распорную структуру, можно сделать вывод, что при выборе модели смещения такого груза необходимо при минимальном объеме учесть ориентацию частиц и структурные изменения среды в глубине нижерасположенных рядов.

Для построения расчетной схемы разобьем весь груз на три объема: верхний (центральный) примем за массу M_3 , два нижних опорных примем за массы M_1 и M_2 . Для предотвращения проникновения элементов верхнего слоя дискретной структуры в нижележащий слой и как следствие разрушения целостности структурной модели воспользуемся способом обратного смещения поверхностных элементов дискретной структуры при наклонениях транспортного модуля. Этот способ реализуется с помощью нижних терминальных регуляторов (вкладные емкости). Вкладная емкость, состоящая из двух сообщающихся между собой камер, располагается под массами M_1 и M_2 . При этом необходимо решить задачу: при заданных размерах емкости, расположенной под слоем дискретной среды, с известными характеристиками, определить необходимую величину жесткости регулятора, при котором обеспечивается расширение терморегулятора и на свободной поверхности груза начинают появляться возмущения. Так возникает расчетная схема с тремя поступательно движущимися массами (рисунок).

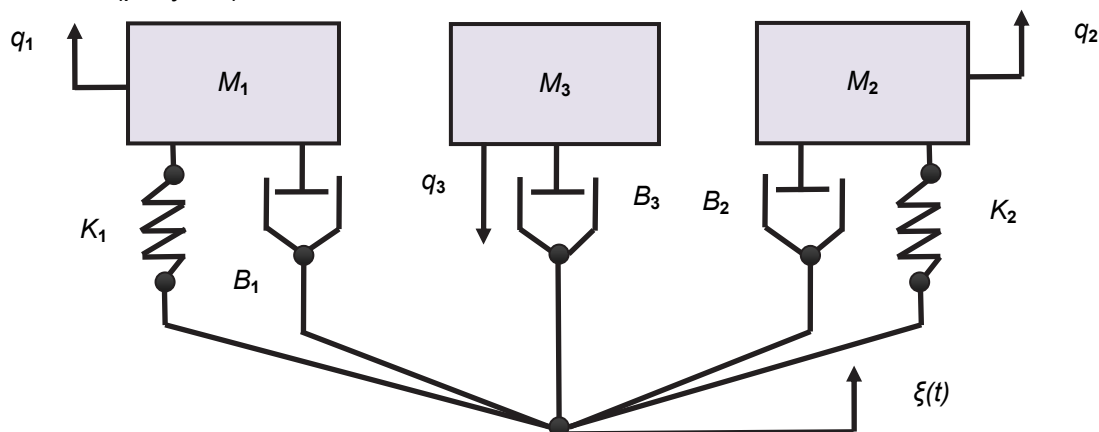


Рисунок – Теоретическая модель регулирования смещаемости дискретной распорной среды

Средняя масса M_3 опирается на диссипативный элемент с коэффициентом вязкого трения B_3 и моделирует перемещение верхнего активно давящего слоя. Две боковые массы M_1 и M_2 опираются на упругие элементы с жесткостями K_1 и K_2 и диссипативные элементы с коэффициентами вязкого трения B_1 и B_2 ; моделируют обратное смещение поверхностных элементов дискретной структуры в нижних слоях груза при наклонениях транспортного модуля. Жесткости K_1 и K_2 учитывают жесткость упругого элемента двух полостей регулятора, расположенных под боковыми массами M_1 и M_2 . При этом коэффициенты вязкого трения B_1, B_2 и B_3 , введенные в модель, учитывают сопротивление дискретной среды.

В выбранной таким образом расчетной схеме учтены свойства её дискретной структуры как распорной среды. При этом произошла некоторая идеализация ее свойств, упрощение и схематизация. При построении расчетной схемы были использованы такие абстрактные объекты, как абсолютно твердое тело, упругий и диссипативный элементы. При выборе расчетной схемы авторы исходили из соображений ее максимальной простоты с условием, что интересующая информация не теряется. Разработанная теоретическая модель регулирования смещаемости дискретной распорной среды позволяет в дальнейшем перейти к аналитической модели [5], выполнить анализ работы терминальных регуляторов на всех возможных режимах нагружения и определить их оптимальные параметры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Коробцов, В. И. Морская перевозка насыпных грузов / В.И. Коробцов. -М: Транспорт, 1977.
- 2 Москаленко, А. Д. Морская транспортировка смещающихся грузов / А.Д. Москаленко. -Владивосток: ДВГУ, 1984.
- 3 Карпович, Е.Б. Статическое давление штабеля труб на опорную поверхность / Е.Б. Карпович // Технология перевозки грузов. -Л.: Транспорт, 1978. -Вып.235. -С 58-63.
- 4 Карпович, Е.Б. Классификация грузов по модели смещения / Е.Б. Карпович // Технология безопасной перевозки грузов морем. Труды ЦНИИМФ. -Л.: Транспорт, 1986. -С. 5-10.
- 5 Маликова, Т.Е. Использование теории графов при разработке математических моделей систем смещающийся груз-спецустройство / Т.Е. Маликова // Научн. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2012. -№2. -С. 39-41.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *смещающийся груз, регулятор, теоретическая модель, система, моделирование*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Маликова Татьяна Егоровна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
Шпак Александр Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ GPS-БУЯ РАДИУСА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА НА ТЕЧЕНИИ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

Ю.А. Комаровский

DETERMINATION OF SHIP'S STEADY-TURNING RADIUS IN STREAM USING GPS-BUOY

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

Yu.A. Komarovskiy

We suggest a technique for ship testing at sea to assess its maneuvering characteristics using the ship's GPS receiver. This technique is distinguished by its exclusion of stream interference on the test results. We also offer two ways of calculation of the ship's steady-turning radius with the geodesic coordinates of the ship's trajectory. A preliminary precision analysis of the test results has been performed.

Keywords: GPS-buoy, steady-turning radius, ship's maneuvering characteristics

Предложена технология проведения натурных испытаний судна с целью определения его маневренных характеристик с помощью судового GPS-приёмника. Эта технология выгодно отличается исключением воздействия течения. Также предложены два способа вычисления радиусов циркуляции судна. Сделан предварительный анализ точности.

Радиус установившейся циркуляции судна относится к числу маневренных характеристик, обязательных для определения, а поэтому мероприятия по его контролю и представлению строго регламентируются международными и национальными документами [1-4]. Стандарты ИМО требуют проведения натурных испытаний элементов поворотливости су-

дов. С появлением на судах приёмников спутниковой радионавигационной системы (СРНС) Навстар GPS открылась перспектива выполнения в реальном масштабе времени высокоточных траекторных измерений. С помощью судовых GPS-приёмников можно в автоматическом режиме непрерывно определять и записывать на персональный компьютер текущие обсервованные координаты судна, параметры вектора его абсолютной скорости, метки времени, а затем обработать эти данные по заранее составленным программам без привлечения береговых специалистов [5, 6]. При этом точность получения координат гораздо выше точности РЛС и РНС.

В работах [7, 8] изложен подход к определению параметров маневренных характеристик судна через идентификацию постоянных математической модели по результатам траекторных измерений. В частности, в работе [7] предложен способ вычисления радиуса установившейся циркуляции и угловой скорости поворота в условиях действия ветра. Намного сложнее выглядит задача определения маневренных характеристик на полигоне или в открытом море в условиях действия переменного течения. В предлагаемой статье рассматривается устранение воздействия течения применением GPS-буя, дрейфующего вблизи судна. Миниатюрный GPS-приёмник буя непрерывно определяет его текущие геодезические координаты, а бортовой радиопередатчик транслирует их в эфир. На испытываемом судне эти координаты принимаются дополнительным приёмником и используются для устранения воздействия течения. Цель данной статьи заключается в разработке методов обработки массивов данных натурных испытаний для получения радиуса циркуляции при использовании дрейфующего GPS-буя.

Пусть φ_{bi} и λ_{bi} – геодезические широта и долгота буя соответственно на момент i -го измерения, а φ_{vi} и λ_{vi} – геодезические широта и долгота средней точки или кормовой оконечности судна, соответствующие i -ым координатам буя. Широта и долгота являются угловыми величинами. Радиус установившейся циркуляции R , обратное смещение, тактический диаметр циркуляции, прямое смещение и выдвиг принято представлять в метрах или в кабельтовых. Поэтому необходимо перейти от угловой меры представления координат к линейной мере, а координаты средней точки определять в плоской прямоугольной системе координат XOY с одинаковыми масштабами вдоль осей и с началом в месте нахождения GPS-буя (точка O рисунок 1). Тогда в плоской прямоугольной системе координат средней точки судна или кормовой оконечности $(x_i; y_i)$ выполняющего циркуляцию судна можно получить следующим образом

$$x_i = (\lambda_{vi} - \lambda_{bi}) \times \ell_p; \quad y_i = (\varphi_{vi} - \varphi_{bi}) \times \ell_m,$$

где ℓ_p, ℓ_m – длина одной минуты параллели и одной минуты меридиана соответственно в средней широте GPS-буя, м.

При использовании GPS-приёмников чаще всего вычисления производят в системе геодезических координат WGS-84. В работе [9] были получены простые формулы для высокоточных расчётов ℓ_p и ℓ_m для любой широты. В результате вычислений появится массив координат x_i, y_i траектории судна, совершившего полную циркуляцию.

Рассмотрим теперь способы вычисления координат центра циркуляции $(x_0; y_0)$ и радиуса циркуляции R , для чего обратимся к рисунку 1. Выберем произвольную точку A с координатами $(x_i; y_i)$. Пусть n – треть количества обсервованных точек за время полной циркуляции судна. Тогда вторая точка B получит координаты $(x_{i+n}; y_{i+n})$. Третья точка C, стоящая приблизительно на равных расстояниях от точки A и от точки B, будет иметь координаты $(x_{i+2n}; y_{i+2n})$. Соединим точки A, B и C. Получим треугольник, близкий к равностороннему. Найдём координаты $(x_{oi}; y_{oi})$ центра окружности, проходящей через вершины этого треугольника. Так как центр окружности находится на одинаковом расстоянии R_i от вершин треугольника, то

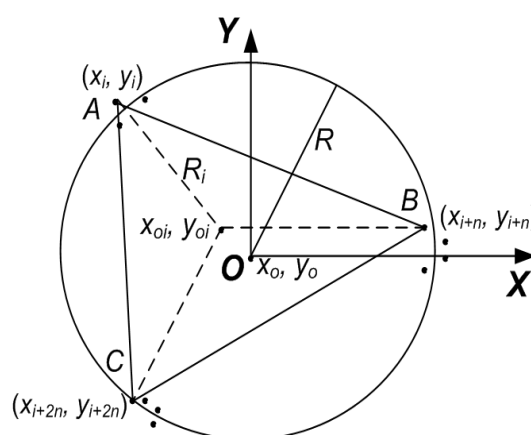


Рисунок 1 – Радиус и координаты центра циркуляции судна

$$\begin{aligned} 2(x_{i+n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+n} - y_i)y_{oi} &= x_{i+n}^2 + y_{i+n}^2 - x_i^2 - y_i^2, \\ 2(x_{i+2n} - x_i)x_{oi} + 2(y_{i+2n} - y_i)y_{oi} &= x_{i+2n}^2 + y_{i+2n}^2 - x_i^2 - y_i^2. \end{aligned} \quad (1)$$

Введём новые обозначения. Пусть

$$\begin{aligned} a_1 &= 2(x_{i+n} - x_i); \quad b_1 = 2(y_{i+n} - y_i); \quad c_1 = x_{i+n}^2 + y_{i+n}^2 - x_i^2 - y_i^2; \quad a_2 = 2(x_{i+2n} - x_i); \\ b_2 &= 2(y_{i+2n} - y_i); \quad c_2 = x_{i+2n}^2 + y_{i+2n}^2 - x_i^2 - y_i^2. \end{aligned}$$

Тогда уравнения (1) можно записать в виде следующей системы

$$\begin{cases} a_1x_{oi} + b_1y_{oi} = c_1; \\ a_2x_{oi} + b_2y_{oi} = c_2. \end{cases} \quad (2)$$

Полученная система (2) представляет собой систему двух линейных уравнений с двумя неизвестными. Корнями системы (2) будут координаты центра окружности, проходящей через вершины треугольника:

$$x_{oi} = \frac{c_1b_2 - c_2b_1}{a_1b_2 - a_2b_1}; \quad y_{oi} = \frac{a_1c_2 - a_2c_1}{a_1b_2 - a_2b_1}. \quad (3)$$

Вследствие влияния случайных погрешностей определения геодезических координат судна при движении его на циркуляции найденные координаты $(x_{oi}; y_{oi})$ в общем случае не будут совпадать с искомыми координатами центра $(x_o; y_o)$. Поэтому расстояния

$$\begin{aligned} R_i &= R_{i+n} = R_{i+2n}; \\ R_i &= \sqrt{(x_i - x_{oi})^2 + (y_i - y_{oi})^2}; \\ R_{i+n} &= \sqrt{(x_{i+n} - x_{oi})^2 + (y_{i+n} - y_{oi})^2}; \\ R_{i+2n} &= \sqrt{(x_{i+2n} - x_{oi})^2 + (y_{i+2n} - y_{oi})^2}, \end{aligned} \quad (4)$$

также следует рассматривать в качестве случайных величин.

Переместим вершины треугольника в следующие обсервованные точки циркуляции. Тогда вершина А займёт точку с координатами $(x_{i+1}; y_{i+1})$, вершина В переместится в точку с координатами $(x_{i+1+n}; y_{i+1+n})$, вершина С совпадёт с точкой с координатами $(x_{i+1+2n}; y_{i+1+2n})$. Используя формулы (3), (4), можно получить новые координаты центра окружности, проходящей через вершины нового треугольника, а также новые три расстояния от центра до вершин. Задаваясь последующими обсервованными точками циркуляции, процесс вычислений следует завершить после того, как вершина А треугольника последовательно побывает во всех остальных точках траектории. Координаты судна φ_{vi} и λ_{vi} являются случайными величинами с унимодальными и почти симметричными плотностями распределения вероятностей [10], поэтому при $n \rightarrow \infty$

$$\frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} x_{oi} \rightarrow x_o; \quad \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} y_{oi} \rightarrow y_o; \quad \frac{1}{3n} \sum_{i=1}^{3n} R_i \rightarrow R. \quad (5)$$

Вычисление координат центра окружности и радиуса циркуляции можно организовать иначе. Зададимся для этого любой точкой А траектории циркуляции с обсервованными координатами $(x_i; y_i)$. Методом перебора выбирается другая точка D с координатами $(x_j; y_j)$, расстояние до которой от точки А будет максимальным. Предполагается, что точка D будет диаметрально противоположна. Поэтому расстояние AD можно принять в качестве диаметра циркуляции. Отсюда радиус циркуляции можно вычислить следующим образом

$$R_i = \frac{AD}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{(x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2}. \quad (6)$$

Координаты центра траектории циркуляции $(x_{oi}; y_{oi})$ будут соответствовать координатам середины отрезка AD

$$x_{oi} = (x_i + x_j)/2; \quad y_{oi} = (y_i + y_j)/2. \quad (7)$$

Затем точка А переносится в следующую обсервованную точку траектории с координатами $(x_{i+1}; y_{i+1})$, и процедура вычисления радиуса циркуляции и координат центра по формулам (6), (7) повторяется. Процесс вычислений завершается после того, как точка А побывает во всех точках циркуляции. В итоге сформируется массив радиусов и массив координат центров траекторий циркуляции, после чего к ним можно применить процедуру усреднения (5).

В заключение надо остановиться на точности предлагаемых способов вычисления параметров циркуляции. Как следует из изложенного материала, погрешности x_0 , y_0 и R напрямую зависят от погрешностей определения широты и долготы судовым GPS-приёмником и приёмником GPS-буя. У современных судовых GPS-приёмников средняя квадратическая погрешность определения широты составляет $\pm 1,6$ м, а долготы – достигает $\pm 1,2$ м [10]. Следовательно, случайная погрешность определения радиуса циркуляции крупнотоннажного балкера составит 0,3%. Испытания маломерных судов потребует увеличения точности определения геодезических координат. Особо остро эта проблема встает перед натурными испытаниями маневренных характеристик маломерных судов и особенно судов с новыми принципами динамического поддержания [11].

Подводя итог проделанной работе, надлежит сформулировать следующие выводы:

1. Применение дрейфующих GPS-буйев значительно упрощает выполнение натуральных испытаний и расчетов, а предложенные способы вычисления радиуса циркуляции просты, легко реализуемы и не требуют высокопроизводительной вычислительной техники.

2. Способы вычисления радиуса циркуляции не нуждаются в разработке и идентификации математической модели движения судна на установившейся циркуляции.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Стандарты маневренных качеств судов: резолюция MSC 137(78) / ИМО. -2002.
- 2 Руководство по определению маневренных характеристик судов: НД N 2-030101-007. -СПб.: Рос. мор. регистр судоходства, 2005. -16 с.
- 3 Руководство по определению маневренных характеристик судов внутреннего плавания (для Европейских внутренних водных путей): НД N 2-030101-028. -СПб.: Рос. мор. регистр судоходства, 2010. -28 с.
- 4 Циркуляционное письмо ИМО MSC/Circ.1053. Пояснения к стандартам маневренных качеств судна, 5 дек. 2002 г. /ИМО.
- 5 Юдин, Ю.И. Обработка результатов натуральных испытаний с учётом траекторных наблюдений манёвров / Ю.И. Юдин, Р.Г. Степахно // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -Мурманск, 2002. -Т.5, №2.-С. 213-218.
- 6 Юдин, Ю.И. Использование судовой спутниковой навигационной аппаратуры СНС «Навстар GPS» для определения маневренных элементов судна и поправки лага / Ю.И. Юдин, А.Ю. Юдин. -Мурманск: Изд-во Мурман. гос. техн. ун-та, 2003. -40 с. -Деп. в ВНИЭРХ от 10.12.2003, №1398 рх 2003.
- 7 Пашенцев, С.В. Идентификация некоторых маневренных характеристик судна по результатам натуральных испытаний / С.В. Пашенцев // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -Мурманск, 2006. -Т.9, №2. -С. 246-252.
- 8 Юдин, Ю.И. Маневренные характеристики судна как функция параметров его математической модели / Ю.И. Юдин, С.И. Поздняков // Вестн. Мурман. гос. ун-та. -Мурманск, 2006. -Т.9, №2. -С. 234-240.
- 9 Комаровский, Ю.А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах / Ю.А. Комаровский // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 16-18 дек. 2009 г. -Усурийск, 2009. -С. 154-161.
- 10 Комаровский, Ю.А. Оценка точности определения координат судовым GPS-приёмником GP-270ML / Ю.А. Комаровский // Материалы международной научно-практической конференции «Водные пути России: строительство, эксплуатация, управление», 1-2 окт. 2009 г. / ФГОУ ВПО СПГУВК. -СПб., 2009. -С. 85-89.
- 11 Азовцев, А.И. Прорыв в области внедорожного амфибийного транспорта / А.И. Азовцев, С.А. Огай, О.В. Москаленко // Наука и трансп. -2012. -Спецвып. -С. 48-50.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *GPS-буй, радиус установившейся циркуляция, маневренные характеристики судна*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

ФИГУРА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ СУДОВОГО ПРИЁМНИКА GP 37 ВБЛИЗИ МОРСКИХ УСТАНОВОК И СООРУЖЕНИЙ

**ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»**

В.А. Кац, Ю.А. Комаровский

COORDINATE ERROR CONTOUR FOR SHIP'S GPS RECEIVER GP-37 IN THE VICINITY OF SEA-BASED PLATFORMS AND INSTALLATIONS

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 V.A. Katz, Yu.A. Komarovskiy

We studied precision of ship's GPS receiver at the latitude of the city of Vladivostok when a raised sea-based platform or installation creates an obstacle to reception of GPS satellite signals from the North-West direction. Under these conditions, the range of variations in the ship's GPS coordinates reaches 980 meters. The root mean square error for latitude and longitude coordinates increases 14 times, reaching ± 23 meters. The obtained planar contour of coordinate error distribution is significantly elongated toward the obstacles to the satellite signals. For an accidents-free ship navigation in the safety zones we proposed to equip sea-based platforms and installations with specialized local high-precision radio-navigation systems.

Keywords: GPS-receiver, envelope method, error distribution, blocking the satellite's signals

Рассмотрена точность судового GPS-приёмника в широте Владивостока, когда высокая морская платформа, установка или сооружение препятствует приёму сигналов спутников с северо-западного направления. Размах варьирования координат в такой ситуации достигает 980 метров. Средние квадратические отклонения широт и долгот возрастают в 14 раз, достигая ± 23 метров. Полученная фигура распределения координат на плоскости сильно вытянута в сторону препятствия сигналам спутников. Для безаварийного плавания судов в зонах безопасности предлагается оборудовать морские платформы, установки и сооружения специализированными высокоточными радионавигационными системами локального действия.

Плавание судов в непосредственной близости от нефтяных и газовых платформ, а также вблизи установок, сооружений и искусственных островов сопряжено с навалами на них и столкновениями с ними. Навалы и столкновения вызывают не только разрушения, но и пожары, затопления, а также аварийные разливы нефти. Поэтому вокруг установок и сооружений на международном уровне учреждены так называемые зоны безопасности, которые простираются не более чем на 500 м от каждой точки внешнего края платформы, установки, сооружения и искусственного острова [1]. В зонах безопасности устанавливаются особый режим плавания для обеспечения безопасности как судоходства, так и искусственных островов, установок и сооружений.

Президент РФ В.В. Путин 14 января 2013 года подписал Указ №23 об ответственных за безопасность платформ, установок, сооружений и искусственных островов на континентальном шельфе России. Согласно документу, федеральным органом исполнительной власти, ответственным за определение мер по обеспечению безопасности судоходства в зонах безопасности, является министерство транспорта РФ. Федеральными органами исполнительной власти, ответственными за определение мер по обеспечению безопасности искусственных островов, установок и сооружений, расположенных на континентальном шельфе РФ, являются министерство транспорта РФ, Федеральная служба безопасности РФ и министерство обороны РФ.

Как показывает установившаяся практика определения подобных мер безопасности, они сводятся к назначению организационных процедур и к разработке информационно-технического обеспечения. Основу такого обеспечения прежде всего закладывают навигационные и связные технические средства самих судов, а также платформ и сооружений. Эти технические средства необходимы для надёжного контроля за ходом сближения с платформами и сооружениями судов, имеющих право заходить в зоны безопасности. В последние годы главная роль в процессах оперативного определения взаимного расположения морских объектов отводится приёмникам СРНС Навстар GPS и Глонасс. По мере сближения судна с платформами, сооружениями и установками их конструкции создают препятствия распространению сигналов спутников к судовой антенне. Чем ближе судно, тем больше становится число спутников, сигналы которых становятся недоступными. Поэтому следует ожидать ухудшения точности определения координат судна. Цель данной статьи состоит в экспериментальном исследовании точности определения координат судна, когда оно подходит вплотную к платформе или к сооружению.

Статистический материал накапливался для случая, когда судно обеспечения удерживается у причально-посадочного устройства морских установок и сооружений. Предполагалось, что конструкции причально-посадочного устройства будет закрывать половину верхней полусферы. С этой целью антенну судового GPS-приёмника GP-37 неподвижно разместили на фасаде первого учебного корпуса Морского государственного университета так, чтобы здание университета препятствовало приёму сигналов спутников СРНС Навстар GPS, находящихся на высотах от 0° до 90° и по направлениям от северо-востока к западу и до юго-запада. На панели рисунка 1а показаны траектории прохождения по небосводу спутников системы Навстар GPS относительно антенны приёмника, находящегося во Владивостоке. Траектории на рисунке 1а соответствуют ситуации, когда отсутствуют препятствия на пути сигналов спутников к антенне. На рисунке 1б можно видеть траектории спутников в эксперименте относительно антенны, не принимающей сигналы спутников из-за блокирования их зданием университета.

Эксперимент проводился с 18 июня по 28 июня 2012 года без перерывов. В ходе эксперимента каждую секунду на жёсткий диск ноутбука автоматически заносились координаты (широта и долгота) и время по шкале UTC. Всего было зафиксировано 865301 измерений пар широт и долгот на протяжении 240,36 часов непрерывного времени. Из них 7233

(0,8359%) измерений пришлось на такое состояние приёмника, в котором он не мог определять координаты, так как в зоне его радиовидимости было менее трёх спутников системы Навстар GPS. Такие наблюдения к дальнейшей обработке не принимались. Обработка полученного экспериментального материала сводилась к вычислению точечных оценок математических ожиданий, средник квадратических отклонений (СКО), размахов варьирования, асимметрий и эксцессов. Для расчётов применялся метод моментов. Параметры положения (мода и медиана) вычислялись с помощью регрессионных методов, разработанных Ю.А. Комаровским.

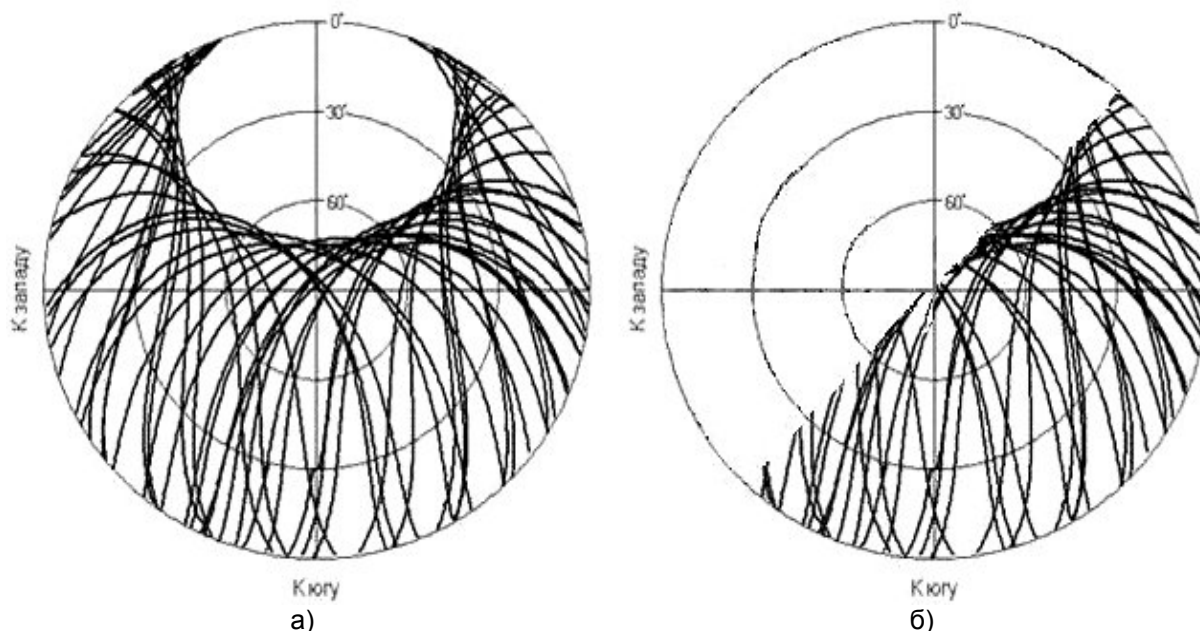


Рисунок 1 – Траектории спутников: а)-при отсутствие препятствий на пути сигналов спутников к антенне; б)-с препятствиями на пути сигналов спутников к антенне

Если считать определяемую GPS-приёмником широту φ непрерывной случайной величиной, то её математическое ожидание M_φ определится начальным моментом первого порядка [2].

$$M_\varphi = \int_{-\infty}^{\infty} \varphi f(\varphi) d\varphi, \quad (1)$$

где $f(\varphi)$ – плотность вероятности распределения широты.

Чтобы получить точечную оценку математического ожидания широты, были подсчитаны частоты n_i ($i = 1, 2, 3, \dots, k$), с которыми i -ое значение широты φ_i встречалось в выборке, полученной в ходе наблюдений. С учётом известных n_i точечная оценка математического ожидания широты φ_{cp} вычислялась с помощью следующих формул:

$$\varphi_{cp} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k \varphi_i n_i; \quad N = \sum_{i=1}^k n_i. \quad (2)$$

Дисперсия случайной величины D_φ является центральным моментом второго порядка,

$$D_\varphi = \int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_\varphi)^2 f(\varphi) d\varphi. \quad (3)$$

На практике в качестве меры точности применялась точечная оценка среднего квадратического отклонения, которая представляет собой корень квадратный из точечной оценки дисперсии

$$S_\varphi = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi - \varphi_{cp})^2 n_i. \quad (4)$$

Важной характеристикой распределения случайной величины является асимметрия. Асимметрия есть ни что иное, как центральный момент третьего порядка, отнесённый к кубу корня квадратного из дисперсии

$$A_{\varphi} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_{\varphi})^3 f(\varphi) d\varphi}{(\sqrt{D_{\varphi}})^3}. \quad (5)$$

В процессе обработки полученных данных оценка асимметрии вычислялась по формуле

$$a_{\varphi} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi_i - \varphi_{cp})^3 n_i}{(\sqrt{S_{\varphi}})^3}. \quad (6)$$

Наряду с асимметрией при обработке полученного статистического материала вычислялся эксцесс распределения широты. Эксцесс необходим для грубой проверки близости распределения случайной величины к распределению Гаусса. Эксцесс E_{φ} является отношением центрального момента четвёртого порядка к квадрату дисперсии, уменьшенным на три

$$E_{\varphi} = \frac{\int_{-\infty}^{\infty} (\varphi - M_{\varphi})^4 f(\varphi) d\varphi}{D_{\varphi}^2} - 3. \quad (7)$$

Чем ближе величина эксцесса к 0, тем выше вероятность того, что исследуемая случайная величина распределена по закону Гаусса. В данном исследовании оценка эксцесса вычислялась по следующей формуле

$$e_{\varphi} = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^k (\varphi_i - \varphi_{cp})^4 n_i}{S_{\varphi}^2} \right] - 3. \quad (8)$$

Помимо дисперсии для оценки рассеивания случайной величины φ в статистических исследованиях используется размах варьирования $\Delta\varphi$, как разность по абсолютной величине между максимальным зарегистрированным значением широты и минимальным.

Перечисленные статистические характеристики распределения долготы вычислялись также по формулам (1)-(8).

Величины СКО и размахов варьирования широт и долгот принято выражать в метрах. Чтобы перейти от угловой меры к линейной, необходимо величины СКО и размахи варьирования умножить на длины одной минуты меридиана ℓ_m и параллели ℓ_p в средней широте. Для этого воспользуемся простыми формулами (9) вычисления ℓ_m и ℓ_p , полученными в работе [3]

$$\begin{cases} \ell_m = K_1 - K_2 \cos 2\varphi_{cp} + K_3 \cos 4\varphi_{cp}; \\ \ell_p = [C_1 - C_2 \cos 2\varphi_{cp} + C_3 \cos 4\varphi_{cp}] \cos \varphi_{cp}. \end{cases} \quad (9)$$

В таблицу 1 сведены полученные статистические характеристики распределений широты и долготы всей выборки за исключением тех наблюдений, когда в зоне радиовидимости приёмника GP-37 было менее трёх спутников системы Навстар GPS.

Таблица 1 – Результаты обработки данных, полученных в ходе экспериментальных наблюдений с 18 по 28 июня 2012 года

| Статистическая характеристика | Широта | Долгота |
|---|----------|----------|
| Среднее, минуты | 6,18333 | 2,11915 |
| Среднее квадратическое отклонение, минуты | 0,012559 | 0,017005 |
| Среднее квадратическое отклонение, м | 23,2551 | 23,0668 |
| Минимальное значение, минуты | 5,8591 | 1,9147 |
| Максимальное значение, минуты | 6,3884 | 2,3215 |
| Размах варьирования, минуты | 0,5293 | 0,4068 |
| Размах варьирования, м | 980,04 | 551,804 |
| Асимметрия | -0,1917 | -1,8945 |
| Эксцесс | 62,0853 | 26,3924 |
| Мода, минуты | 6,1853 | 2,1159 |
| Медиана, минуты | 6,1837 | 2,1176 |
| Объём выборки | 858068 | 858068 |

Из таблицы следует, что размах варьирования широты почти в два раза превосходит размах варьирования долготы. Обсервованная широта изменяется в пределах одного километра, что почти в 50 раз больше варьирования обсервованной широты в ситуациях, когда отсутствуют препятствия распространению сигналов спутников [4]. Средние квадратические отклонения координат в таблице почти одинаковы и составляют 23 м. В тех случаях, когда поблизости нет сооружений, СКО широты и долготы не превосходят 1,6 м [4]. Следовательно, сооружение, создающее в северо-западной полусфере преграду распространению сигналов спутников, вызывают увеличение случайных погрешностей определяемых координат в 14 раз. Сопоставление размахов варьирования широты и долготы с их эмпирическими эксцессами позволяют сделать вывод о чрезмерной по сравнению с распределением Гаусса затаяности крыльев эмпирических плотностей вероятностей. Эмпирические законы распределения погрешностей определения координат вблизи морских платформ и сооружений нельзя рассматривать как законы Гаусса. Следовательно, традиционные статистические оценки точности, основанные на предположении о Гауссовском распределении погрешностей координат, в рассматриваемой ситуации тем более не годятся. В связи с этим задачу определения того, как распределяются на плоскости величины погрешностей обсервованных координат в зависимости от направления на препятствие, решать будет некорректно с помощью классического эллипса погрешностей. Поэтому воспользуемся предложенным в работе [5] контурным методом оценки точности для исследования влияния препятствий сигналам спутников СРНС Навстар GPS. Этот метод не зависит от вида закона распределения погрешностей координат и от вида статистической связи между погрешностями. Кроме того, такой подход и основанные на нём расчёты не зависят от присутствия систематических погрешностей в определяемых координатах. Для пояснения применяемого метода обратимся к рисунку 2.

На рисунке 2 точками изображены обсервованные места неподвижной антенны приёмника СРНС Навстар GPS. Точка O соответствует средним значениям широты и долготы, полученным за длительный период непрерывных наблюдений. Представим, что вся плоскость горизонта, на которую нанесены обсервации, разделена на k равных секторов, которые имеют общие границы и не перекрывают друг друга. На рисунке 2 показан i -ый сектор, чья биссектриса направлена по пеленгу α , который отсчитывается от северной части меридиана по ходу часовой стрелки от 0° до 360° . Внутри i -го сектора содержится N_i обсерваций.

Зададимся величиной радиуса-вектора r_i . Тогда отношение количества обсерваций n_i , лежащих внутри треугольника OBD , к общему числу обсерваций N_i , принадлежащих i -му сектору, даст частоту $p_i = n_i/N_i$, которая будет точечной оценкой вероятности того, что фактическое место неподвижной антенны приёмника СРНС Навстар GPS находится внутри треугольника OBD . Оценка p_i является случайной величиной. Частота p_i будет по вероятности сходиться к p_r , если $N_i \rightarrow \infty$. Индекс r свидетельствует о том, что вероятность p_r соответствует r_i . Следовательно, задаваясь конкретной величиной вероятности p_r , и варьируя длиной радиуса r , можно отыскать такой радиус r_i , при котором величина отношения n_i/N_i будет как можно ближе к p_r . В этом случае каждый сектор имеет присущую ему длину радиуса r_i . Поэтому результатом вычислений по всем k секторам будет k -мерный вектор r радиусов, которые в общем случае имеют разные длины.

$$r = |r_1, r_2, \dots, r_i, \dots, r_k|.$$

Если соединить прямыми линиями концы соседних радиусов, то получим замкнутую ломаную линию, которая образует фигуру, характеризующую распределение погрешностей определения координат неподвижной антенны по любому избранному пеленгу.

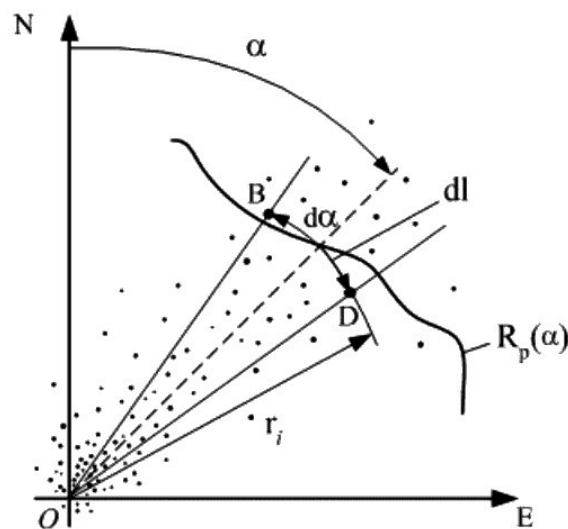


Рисунок 2 – Пояснения контурного метода оценки точности координат

Пусть n_{ri} -число обсервованных точек, принадлежащих контуру и его границе, соответствующее радиусу-вектору r при заданной вероятности p_r , N_i -общее число обсервованных точек в секторе i

$$n_{ri} = \sum_{i=1}^k n_i ; N = \sum_{i=1}^k N_i .$$

Докажем, что при $\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty$ отношение n_{ri}/N_i будет сходиться по вероятности к p_r , то есть

$$\lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{n_{ri}}{N} = \lim_{N_i \rightarrow \infty} \frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k N_i} = p_r .$$

Пусть

$$n_{ri}/N_i = p_r + \alpha_i(N_i)$$

где

$$\alpha_i(N_i) \rightarrow 0 \text{ при } N_i \rightarrow \infty .$$

Следовательно, $n_{ri} = p_r N_i + N_i \alpha_i(N_i)$. Отсюда

$$\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k N_i} = \frac{\sum_{i=1}^k [p_r N_i + N_i \alpha_i(N_i)]}{\sum_{i=1}^k N_i} = \frac{p_r \sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i} + \frac{\sum_{i=1}^k N_i \alpha_i(N_i)}{\sum_{i=1}^k N_i} = p_r + \beta$$

где

$$\beta = \frac{\sum_{i=1}^k N_i \alpha_i(N_i)}{\sum_{i=1}^k N_i} \times |\beta| \leq \frac{\sum_{i=1}^k N_i |\alpha_i(N_i)|}{\sum_{i=1}^k N_i} \leq \frac{\max_{1 \leq i \leq k} |\alpha_i(N_i)| \times \sum_{i=1}^k N_i}{\sum_{i=1}^k N_i} = \max_{1 \leq i \leq k} |\alpha_i(N_i)| .$$

Если $\min_{1 \leq i \leq k} N_i \rightarrow \infty$ при $\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty$ то, очевидно, $\beta \rightarrow 0$ при $\sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty$, что эквивалентно

$$\frac{\sum_{i=1}^k n_i}{\sum_{i=1}^k N_i} \rightarrow p_r \text{ при } \sum_{i=1}^k N_i \rightarrow \infty .$$

Когда $k \rightarrow \infty$, то ломанная линия, соединяющая концы радиусов-векторов r_i , будет приобретать более плавные очертания, формируя замкнутый контур, ограничивающий часть плоскости, внутри которой находится фактическое место антенны GPS-приёмника с заданной вероятностью p_r . Таким образом, величина r_i служит мерой рассеивания обсервованных координат GPS-приёмника в направлении биссектрисы данного сектора. Понятно, что чем больше r_i , тем с меньшей точностью определяются координаты по данному направлению. Следовательно, рассмотренный контурный метод можно применять для оценки точности определения координат при возникновении объектов (конструкций судна, портовых сооружений, зданий, рельефа местности), создающих физические препятствия на пути распространения сигналов спутников до антенны приёмника СРНС.

Рассмотренный метод был апробирован в работе [6] и применялся затем в работах [7-12] для анализа точности плановых координат судовых GPS-приёмника.

Для получения фигуры погрешностей вычислялось количество обсерваций, принадлежащих каждому из 72 смежных секторов шириной в 5 градусов. Левая граница первого сектора совпадала с направлением на истинный север. Правая граница каждого сектора ему не принадлежала. По каждому сектору определялось такое расстояние r от начала координат, при котором отношение количества обсерваций, отстоящих на расстоянии r_i от начала координат до r , к общему количеству обсерваций в данном секторе было равно 0,95. Затем эти расстояния откладывались по биссектрисам 72 секторов. Так был получен контур погрешностей обсервованных координат приёмника GP-37 в предположении того, что конструкции причально-посадочного устройства буровой платформы будут блокировать сигналы спутников в западной половине верхней полусферы.

На рисунке 3 видно, что контур погрешностей вытягивается в сторону препятствия сигналам спутников СРНС Навстар GPS. Для вероятности 0,95 границы контура погрешностей превосходят 80 м, если его большая полуось направлена в сторону препятствия сигналам спутников. В направлении малой полуоси границы контура едва более 10 м. Полученный вид фигуры погрешностей координат никак не напоминает эллипс.

Полученные результаты позволяют сделать следующие выводы и предложения.

1. Погрешности определения координат GPS-приёмника судна, сближающегося вплотную с морской платформой, установкой или сооружением, могут быть соизмеримыми с размерами зон безопасности, учреждаемыми вокруг них.

2. Вид фигуры распределения погрешностей рисунка 3 не располагает к принятию эллипса в качестве наиболее приемлемой фигуры погрешностей для оценки точности обсерваций с помощью приёмников СРНС Глонасс и Навстар GPS в непосредственной близости от морских платформ, установок и сооружений.

3. Вид фигуры погрешностей координат имеет вытянутость в сторону препятствия распространению сигналов спутников.

4. Экипажам судов, совершающим плавания в зонах безопасности морских платформ, установок и сооружений, не следует полностью полагаться на показания судовых GPS-приёмников.

5. Для обеспечения безаварийного плавания судов в зонах безопасности, а также для обеспечения автоматической навигации разного рода роботов, осуществляющих мониторинг состояния моря и самих установок, необходимо на платформах и установках размещать специализированные высокоточные радионавигационные системы локального действия.

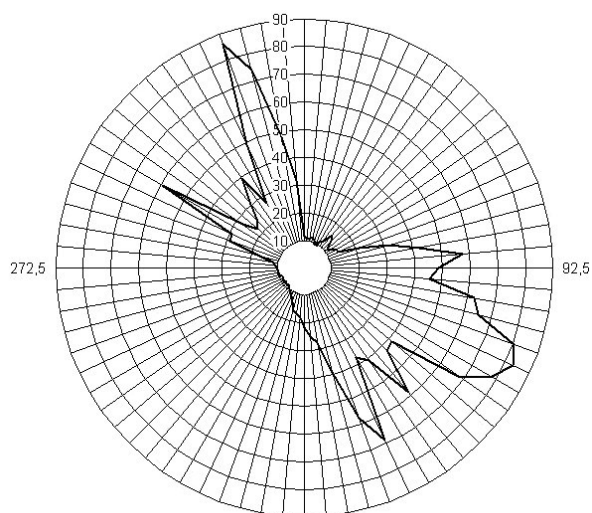


Рисунок 3 – Контур погрешностей приёмника GP-37 вблизи морской платформы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Резолюция ИМО А.671(16). Зоны безопасности и безопасность мореплавания вокруг прибрежных сооружений и установок: принята 19 окт. 1989 г.

2 Вентцель, Е.С. Теория вероятностей / Е.С. Вентцель. -М.: Гос. изд-во физико-математ. лит., 1962. -564 с.

3 Комаровский, Ю.А. Точные вычисления пройденных расстояний на земных эллипсоидах / Ю.А. Комаровский // Современные проблемы развития и методики преподавания естественных и точных наук: материалы Всерос. науч.-практ. конф., 16-18 дек. 2009 г. /УГПИ. -Уссурийск, 2009. -С. 154-161.

4 Комаровский, Ю.А. Точность определения координат приёмником СРНС // Морская экология-2005 (MAREC-2005): тр. междунар. науч.-практ. конф., 5-7 окт. 2005 г. / МГУ им. адм. Г.И. Невельского. -Владивосток, 2006. -Т.2. -С. 39-47.

5 Комаровский, Ю.А. Контурный метод оценки точности ОМС приёмником СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Вест. Мор. гос. ун-та. Сер. Судовождение. -Владивосток, 2005. -Вып. 9. -С. 10-13.

6 Кац, В.А. Контур погрешностей координат GPS-приёмника / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№1. -С.133-137.

7 Кац, В.А. Влияние места установки антенны GPS-приёмника на точность определения координат / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 112-115.

8 Кац, В.А. Уточнение границ контура погрешностей координат GPS-приёмника GP-37 / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 175-179.

9 Кац, В.А. Оценка точности плановых координат GPS-приёмника GP-270ML контурным методом / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№1. -С. 124-128.

10 Кац, В.А. Погрешности приёмника Garmin GPS-128 при частичном затенении сигналов спутников / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2010. -№2. -С. 173-178.

11 Кац, В.А. Предварительная оценка влияния диаграммы направленности антенны на точность приёмника J-NAV500 / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 108-111.

12 Кац, В.А. Топология фигуры погрешностей обсервованного места на периферии зоны действия дифференциальной станции / В.А. Кац, Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 175-179.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник, контурный метод, распределение погрешностей, затенение сигналов спутников

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кац Владимир Александрович, инженер, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»
Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ

ФБОУ ВПО «Волжская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Веселов, С.Е. Ионов, В.И. Минеев, В.А. Новик

THE EFFICIENCY AND SAFETY OF NAVIGATION ON INLAND WATERWAYS

Volga state academy of water transport

G.V. Veselov, S.E. Ionov, V.I. Mineev, V.A. Novik

Displaying the economic state of the transport of the Russian Federation, including the inland waterway. The problems of efficiency and safety of navigation on inland waterways.

Keywords: enterprise profits, efficiency of shipping, safety of navigation

Показано экономическое состояние транспорта Российской Федерации, в том числе внутреннего водного. Рассмотрены проблемы эффективности и безопасности судоходства на внутренних водных путях.

Повышение эффективности работы различных видов транспорта в России является актуальнейшей проблемой в условиях острой конкуренции на мировом рынке. Успех продвижения продукции на рынок во многом определяется эффективностью транспорта, использованием новых технологий, новых технических средств доставки грузов.

Однако, несмотря на постоянный рост тарифов, потенциал российских предприятий транспорта в сравнении с иностранными весьма низкий. Экономическое состояние различных видов транспорта свидетельствует о невозможности производить обновление практически изношенных основных фондов за счет собственных источников, прежде всего за счет амортизационных отчислений. Кроме того, более 42% всех предприятий транспорта закончили 2011 год с убытками. Размер валовой прибыли прибыльных крупных и средних предприятий основных видов транспорта приведен в таблице 1.

Анализ средних значений годовой прибыли прибыльных предприятий (таблица 1) свидетельствует о системном кризисе на транспорте.

Размер чистой прибыли прибыльных предприятий будет более чем на 20% меньше валовой: на железнодорожном транспорте – на 366 млн. руб., на морском – на 20 млн. руб., на внутреннем водном – на 13 млн. руб.

За счет прибыли на внутреннем водном транспорте можно построить только одно грузовое транспортное судно грузоподъемностью 5000 т за 6-10 лет.

Поэтому одним из путей выхода из кризисного состояния и повышения конкурентоспособности российских судоходных компаний при остром дефиците инвестиций является модернизация существующего флота и внедрение новых технологий доставки грузов.

Анализ развития различных видов технических средств транспорта в мире показывает, что основной устойчивой тенденцией является рост их грузоподъемности, особенно на зарубежном морском транспорте. Всего за 26 лет с 1950 года дедейт морских танкеров увеличился в 35 раз, достигнув почти 565 000 т [12].

Увеличение грузоподъемности транспортных средств является важным направлением и ведет к существенному снижению их удельной стоимости строительства и стоимости содержания, что способствует сокращению затрат по транспортировке и повышению конкурентоспособности подвижного состава.

Мировой и отечественный опыт показывает, что на водном транспорте только габариты водных путей и, в меньшей степени, – партионность грузопотоков ограничивает рост грузоподъемности транспортных средств (даже в морских условиях плавания).

На внутренних водных путях в центре России, в крупнейшем Волжско-Камском бассейне, в первую очередь, именно габариты пути, шлюзов и каналов ограничивают рост грузоподъемности транспортных судов.

Максимальная грузоподъемность толкаемых секционных составов в 70-х годах прошло-

Таблица 1 – Средний размер годовой прибыли прибыльных предприятий транспорта в 2011 г. в РФ

| Виды транспорта | Размер годовой прибыли, млн. руб. |
|-------------------|-----------------------------------|
| Железнодорожный | 1831,4 |
| Морской | 99,5 |
| Внутренний водный | 66,5 |
| Автомобильный | 33,8 |

го века на Волге достигла 20 000 т (это самые крупные толкаемые составы на реках в мире после США), составных грузовых теплоходов – 10 000 т. Грузоподъемность отдельных секций составляла 10 000 т.

Однако из-за ряда объективных и субъективных причин строительство крупнотоннажного флота для грузовых перевозок в Волжско-Камском бассейне прекратилось.

Одной из причин, сдерживающих внедрение на перевозках крупнотоннажных составов, является недостаточная управляемость их при движении в порожнем состоянии в сложных условиях плавания.

Замена на самоходных судах рулей отдельными поворотными насадками и увеличение мощности судовых силовых установок заметно улучшили управляемость судов, составов и, естественно, повысили безопасность судоходства. Учитывая, что в Волжско-Камском бассейне шлюзы расположены через 400-450 км, то есть суда шлюзуются почти каждые сутки хода, недостаточная управляемость порожних составов при снижении скорости движения при прохождении подходных каналов, заходе в шлюз и выходе из него в условиях ветра не обеспечивает безопасность судоходства. Грузовые теплоходы грузоподъемностью 4000-5000 т и максимальной длиной 141 м оборудованы носовыми подруливающими устройствами, что улучшает маневренные качества судов, снижает вероятность их повреждения при шлюзовании, при расхождении в каналах, при подходе к причалам и т.д. Вместе с тем, толкаемые составы грузоподъемностью до 20 000 т и длиной до 266 м не оборудованы носовыми подруливающими устройствами. Следовательно, при неблагоприятной погоде и в стесненных условиях плавания, в подходных каналах, когда скорость движения судов и составов ограничена, при заходе в шлюз или выходе из него и движении на пониженных скоростях возникает опасность удара, навала, столкновения судов, и т.д.

Таким образом, отсутствие подруливающих устройств на толкаемых составах при движении их порожнем является предпосылкой возникновения аварийной ситуации при прохождении затруднительных участков плавания и неблагоприятной погоде.

Наиболее характерные аварийные случаи по данным Ространснадзора, связанные, на наш взгляд, с недостаточной управляемостью судов, плавающих под государственным флагом Российской Федерации, за 2008-2011 годы приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Аварийные случаи на водном транспорте России

| Транспорт | Виды аварийных случаев | Период | | | |
|-----------|---|--------|------|------|------|
| | | 2008 | 2009 | 2010 | 2011 |
| Речной | Столкновение | 4 | 9 | 14 | н/д |
| | Удар | 15 | 11 | 24 | н/д |
| | Затопление судов | 6 | 5 | 3 | н/д |
| | Посадка на мель | 36 | 38 | 42 | н/д |
| | Повреждение гидротехнических сооружений | 5 | 1 | 14 | н/д |
| Морской | Посадка на мель | 14 | 5 | 23 | 12 |
| | Навал | 8 | 9 | 11 | 7 |
| | Столкновение | 3 | 3 | 5 | 7 |
| | Потеря остойчивости, плавучести, затопление | 0 | 6 | 3 | 1 |

Как видно из таблицы 2, такие аварии как удары, навалы и др. происходят в основном из-за недостаточной управляемости судов в сложных условиях плавания. Многие аварийные ситуации преодолеваются только благодаря высокому профессионализму командного состава судов.

Следует отметить, что интенсивность судоходства на реках России за последние годы значительно снизилась. Однако количество аварийных случаев не только не снижается, а наоборот – возрастает.

Решение проблемы повышения управляемости давно назрело. Недостаточная управляемость транспортных средств является не только одной из основных причин аварийности, но и сдерживает внедрение на перевозках более эффективных большегрузных составов. Еще в начале 70-х годов прошлого века проблема улучшения маневренности составов и составных теплоходов поднималась на страницах журнала «Речной транспорт» [2, 9].

За последние годы наблюдается наращивание мощности главных силовых установок у новых грузовых теплоходов и танкеров (таблица 3).

На наш взгляд, с точки зрения безопасности судоходства, это положительная тенден-

ция. Вместе с тем, использование транспортных судов смешанного река-море плавания с повышенной мощностью главных силовых установок на перевозках экспортно-импортных грузов из портов Волжско-Камского бассейна в зарубежные порты Балтики, Черного, Средиземного морей через Волго-Балтийский и Волго-Донской каналы, скорость движения судов в которых ограничена до 11 км/ч, а также имеются ограничения при прохождении подходных каналов к шлюзам, рейдов, причалов и т.д., не позволяет в полной мере реализовывать мощность их главных двигателей. В результате, наращивание мощности главных силовых установок при расположении средств управления в кормовой части судов и эксплуатации их в указанных условиях снижает в целом эффективность перевозок в таких судах и толкаемых составах [2], а управляемость и безопасность повышается незначительно. Вероятность возникновения аварийных ситуаций остается, так как аварийные случаи происходят в неблагоприятных погодных условиях и при малых скоростях движения судов в каналах, при заходе в шлюз или выходе, при подходе к причалам в неблагоприятных погодных условиях.

Таблица 3 – Основные технико-эксплуатационные характеристики новых грузовых судов

| Тип судна, главные размерения $L \times B \times T (T_M/T_P/B)$, завод изготовитель | Дедвейт, т в море/в реке | Грузоподъемность, т, в море/в реке | Мощность судовой си- ловой установки, л.с. | Скорость, уз. |
|---|-----------------------------|---------------------------------------|---|---------------|
| Танкер типа «Колгуев» 129,3×16,5×6,8 (5,0/3,6) Волгоградская верфь | 6600/3800 | 6200/3500 | 2450 | 10 |
| Грузовой теплоход «Русич» 128,2×16,74×6,1 (4,2/3,6) Завод «Красное Сормово» | 5190/3855 | 4960/3720 | 3000 | 11 |
| Грузовой теплоход 99,9×16,6×8,3 (6,4/–) Волгоградская верфь | 5200/– | – | 3260 | 14 |
| Танкер 141×16,9×7,4 (5,1/3,6) Завод «Красное Сормово» | 8000/4420 | 7600/4300 | 3600 | 10 |
| Танкер 110,5×17,0×9,6(7,6/–) Волгоградская верфь | 6500 | – | 4480 | 15 |

Для повышения эффективности перевозок и повышения безопасности судоходства на шлюзованных системах в Европейской части страны, особенно с открытием Волги для иностранных судовладельцев и развитием международных перевозок, следует разработать и оборудовать подруливающими устройствами оптимальной мощности грузовые составные теплоходы и толкаемые составы различной грузоподъемности. Расчеты показывают, что внедрение грузовых составных теплоходов по сравнению с одиночными позволяет повысить эффективность перевозок на 25-30%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аветикян, М.Л. Высокие технологии транспортного процесса / М.Л. Аветикян // Ж.-д. трансп. -2001. -№11. -С. 73-77.
- 2 Ваганов, Г.И. Об оптимальной мощности толкачей / Г.И. Ваганов, А. Сазонов // Реч. трансп. -1983. -№8. -С. 32-33.
- 3 Проблемы и перспективы развития грузовых перевозок в коридоре Север-Юг-Север / Г.В. Веселов, В.И. Жмачинский, С.Е. Ионов, В.И. Минеев // Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции «Перспективные инновации в науке, образовании, производстве и транспорте». -Одесса, 2011. -Т.1: Транспорт. -С. 20-23.
- 4 Веселов, Г.В. Основные фонды водного транспорта и показатели их использования / Г.В. Веселов, И.К. Кузьмичев, В.И. Минеев. -Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. -100 с.
- 5 Збаращенко, В. МСК «Евразия» и геополитические интересы России / В. Збаращенко // Мор. флот. -2011. -№4. -С. 5-7.
- 6 Кацман, Ф.М. Управляемость судов в различных условиях плавания: учеб. пособие / Ф.М. Кацман. -СПб.: Изд-во ГМА им. Макарова, 2005. -53 с.
- 7 Кацман, Ф.М. Международные транспортные коридоры. Отдельные проблемы и пути их решения / Ф.М. Кацман, Е.А. Королева. -СПб.: СПГУВК, 2003. -43 с.
- 8 Киселев, И.П. Высокоскоростной судоходный транспорт: состояние и перспективы / И.П. Киселев // Трансп. Рос. Федерации. -2010. -№6(31). -С. 60-66.
- 9 Контарев, К. Улучшение маневренности грузовых теплоходов пр.576 с приставками / К. Контарев // Реч. трансп. -1968. -№4. -С. 35-36.
- 10 Курнышева, И. Транспортный комплекс и модернизация / И. Курнышева // Экономист. -2012. -№5. -С. 39-48.

- 11 Минеев, В.И. Стратегия освоения внешнеторговых перевозок российскими компаниями в условиях функционирования международного коридора Север-Юг / В.И. Минеев // Реч. трансп. (XXI век). -2008. -№3. -С. 76-79.
- 12 Минеев, В.И. Формирование стратегии энергосбережения на внутреннем водном транспорте: монография / В.И. Минеев. -Н.Новгород: Изд-во ФГОУ ВПО «ВГАВТ», 2009. -151 с.
- 13 Чабан, В. Перевозки в изгибаемых составах / В. Чабан, Б. Леванов // Реч. трансп. -1986. -№2. -С. 29-30.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *прибыль предприятия, эффективность судоходства, безопасность судоходства*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Веселов Геннадий Васильевич, докт. экон. наук, профессор ФБОУ ВПО «ВГАВТ»*
Ионов Сергей Евгеньевич, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
Минеев Валерий Иванович, докт. техн. наук, профессор, президент ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
Новик Вадим Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5а, ФБОУ ВПО «ВГАВТ»*

АНАЛИЗ РАБОТЫ СУДОВ С ДВИЖИТЕЛЯМИ АЗИПОД В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ

ФГБОУ ВПО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»

М.И. Куличихин, С.Ю. Развозов

ANALYSIS OF AZIPOD SHIP MOVEMENT IN ICE CONDITION

Admiral Makarov state university of maritime and Inland shipping
M.I. Kulichikhin, S.Yu. Razvozov

This article presents analysis of work of tankers «Vasily Dinkov», features of maneuvering of vessels in ice conditions, hull structure design shell expansion of Arctic tanker. Dependence of the maximum ice load to the hull is considered.

Keywords: azipod, motorship «Vasily Dinkov», Sovkomflot, ice certificate

Представлен анализ работы танкеров типа «Василий Динков», особенности маневрирования судов в ледовых условиях, растяжка наружной обшивки корпуса. Рассмотрена зависимость максимальной ледовой нагрузки на расчетный элемент обшивки борта от толщины льда.

Все ускоряющаяся жизнь диктует и новые требования к морской промышленности. Грузы и пассажиров необходимо перевозить больше, быстрее, безопасней, экологичней и с меньшими затратами мощности. Это заставляет судостроителей разрабатывать и внедрять новые конструкции и концепции, которые бы соответствовали растущим требованиям. Одной из таких передовых технологий являются движители Azipod.

Модуль Azipod – уникальная азимутальная движительная система в гондоле, в которой один модуль обеспечивает движение и рулевое управление судном. Модуль Azipod оснащается электродвигателем с регулируемой частотой вращения и гребным винтом фиксированного шага, который установлен прямо на вал двигателя. Электродвигатель управляется посредством преобразования частоты, что обеспечивает полный номинальный момент и плавную бесступенчатую регулировку во всем диапазоне скоростей, включая полную остановку. Модуль Azipod монтируется с рулевым модулем, а питание подается через узел контактных колец, что обеспечивает возможность вращения на 360° [2].

Модули Azipod используются на многих типах судов: пассажирские суда, паромы, суда снабженцы, трубоукладчики, буровые и грузовые суда, а так же ледовые танкеры. Остановимся подробнее на использовании модулей Azipod на ледовых танкерах типа «Василий Динков».

Челночные танкеры имеют категорию ледовых усилений ЛУ6 и ориентированы на круглогодичные перевозки нефти на маршруте Варандей-Мурманск. Согласно Правилам классификации и постройки морских судов Российского морского регистра судоходства самостоятельное плавание таких судов в Баренцевом море допускается без ограничений [1].

Судно способно не только самостоятельно, без проводки ледокола, двигаться в ледовых полях до полутора метров толщиной, как носом, так и кормой, но и удерживать местоположение танкера относительно СМЛОП. Судно уверенно продвигается в ровном сплошном льду до полутора метров толщиной со скоростью 11 узлов. Практически при полном отсутствии вибрации корпуса.

Климатические условия эксплуатации являются экстремальными. Плавание и маневрирование судов в районе СМЛОП в ледовый период осложнено влиянием динамических факторов: подвижкой льда, сжатием, резкой сменой направления дрейфа льда. Последовательные разрежения и сжатия приводят к активному торошению и формированию полей сморозей торошенного льда [4].

Наиболее сложная ледовая обстановка, обуславливаемая ледовым сжатием, может сложиться в весенний период, вследствие возникновения продолжительных ветров от западных до северо-восточных направлений скоростью свыше 15 м/с. В этом случае большая часть льдов юго-восточной части Баренцева моря смещается в район Варандея, ледовый массив упирается в припай, создавая наибольшее напряжение и сжатие льда, в том числе и в районе СМЛОП [4].

Танкеры типа «Василий Динков», оснащенные модулями Azipod, обладают намного лучшей маневренностью по сравнению с судами, которые оснащены винтами на валопроводах или поворотными насадками.

Возможность повернуть мощные основные винты в нужную сторону и развить полный упор в любом направлении, независимо от скорости судна, значительно повышает маневренность [2] и делает возможность танкерам данного типа уверенно продвигаться во льду не только носом вперед, а на участках, где попадаются сложные заторошенные поля, двигаться кормой вперед, судно без реверсирования возобновляет движение после небольшой остановки, со скоростью не превышающей допустимые нагрузки на корпус в соответствии с Ледовым сертификатом. Следует отметить, что при выходе из строя одного из модулей Azipod, судно способно продолжать движение используя только один модуль Azipod.

Безопасность плавания судов во льдах, обеспечиваемая прочностью корпуса и движительно-рулевого комплекса, регламентируется классификационными обществами путем присвоения судну соответствующей ледовой категории (ледового класса) в зависимости от условий эксплуатации и назначения судна. Ограниченные, то есть сниженные до безопасного уровня, скорости проводки судов определяются расчетным путем в зависимости от конструкции и формы обводов корпуса, размерений и водоизмещения, мощности энергетической установки и тяговых характеристик пропульсивного комплекса, возраста и состояния (износа) наружной обшивки. Результаты расчетов, представляющие собой графические зависимости допустимых (безопасных) скоростей движения судна от ледовых условий и параметров ледокольной проводки (ширина канала, толщина и сплоченность битого льда в канале), оформляются в виде регламентирующего документа, называемого *Ледовым сертификатом* [1].

Срок действия *Ледового сертификата* – 10 лет. По истечении этого срока он подлежит обновлению по итогам экспертизы документов, в которых содержится информация о состоянии наружной обшивки и степени ее изношенности [1].

Считается, что проведение соответствующих модельных экспериментов в мореходных и ледовых опытовых бассейнах может дать хорошее приближение к реальным условиям. Но как показал опыт работы, все предусмотреть невозможно. С точки зрения ледопроеходимости эти танкеры являются весьма многообещающими, в частности при движении носом вперед и в сложных ледовых условиях кормой вперед. Но возникло несколько трудностей, так если развернуть азиподы и поставить их в диаметральной плоскости, то при движении во льду кормой возникает срыв потока у кингстонных ящиков, шугой и битым льдом забивается система охлаждения генераторов. Наличие льда затрудняет поступление воды в систему охлаждения генераторов и приводит к нарушению нормальной работы системы вследствие ледообразования в ней.

Опытным путем удалось установить, что при развороте азиподов на десять градусов к диаметральной плоскости (рисунок 1) удается избежать этого явления, так как поток от винтов идет не под днище судна, а к бортам, так же при такой постановке модулей Azipod, потоком разряжается ледовое сжатие бортов.

Глубины в районе СМЛОП по мере удаления от берега увеличиваются постепенно и составляют в среднем 17-20 м. При движении кормой вперед на малых глубинах в районе СМЛОП помимо проблем с охлаждением возникает еще одна, чрезмерная нагрузка на корпус. Бортовая обшивка танкеров подвергается действию гидростатических нагрузок и усилий со стороны ледяного покрова. Большая часть объема плавающего льда находится под водой и значительное количество льдин притапливается корпусом, об-

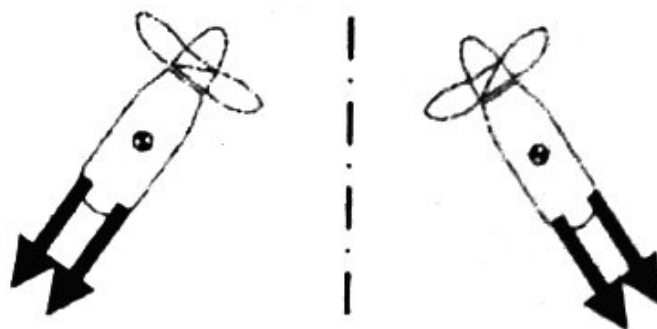


Рисунок 1 – Схема разворота модулей Azipod

воды корпуса выполнены так, что создают эффект кармана (рисунок 2) и при движении кормой вперед, модули Azipod вращаясь (рисунок 3), гонят потоком из-под винтов битые лед и шугу под корпус танкера, что ведет вследствие малого запаса глубины под килем к образованию ледовой пробки между дном и корпусом танкера. Мощности модулей Azipod вполне достаточно, чтобы пройти этот лед, но нагрузки на корпус возрастают колоссально, что может привести к деформации или пробоине корпуса.

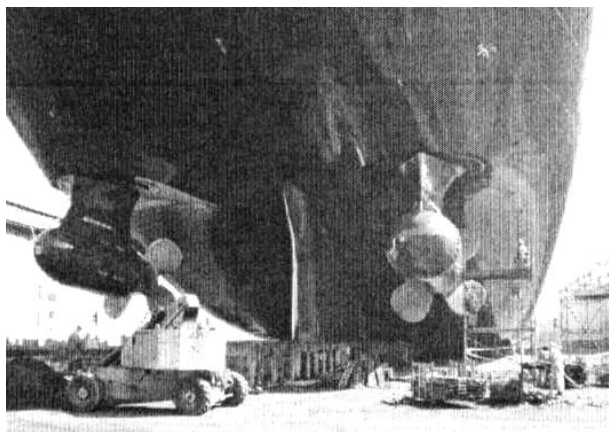


Рисунок 2 – Теплоход «Василий Динков» в доке, Дубай 2008 г.

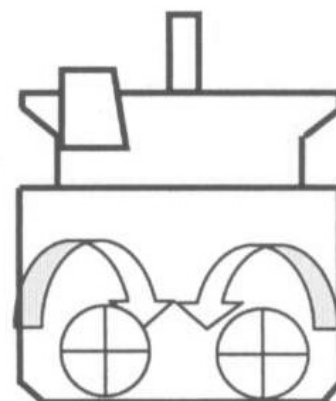


Рисунок 3 – Схема вращений винтов при движении танкера кормой вперед

Оценка достаточности прочности обшивки ледового пояса в средней части судна при воздействии ледовых сжатий осуществляется посредством сравнения несущей способности листов обшивки P_{sp} и прочности льда на смятие P_{ice} . Последняя величина характеризуется максимальной нагрузкой, которую может создать лед до начала разрушения при статическом контакте с бортом судна. В тех случаях, когда выполняется условие $P_{sp} \geq P_{ice}$, прочность обшивки ледового пояса считается обеспеченной. Предельная нагрузка P_{sp} , которую способен выдержать расчетный элемент обшивки до начала образования пластических шарниров по его длинным опорным кромкам, определяется с учетом толщины обшивки, шпации и предела текучести стали. При толщине обшивки 32,5 мм, шпации 600 мм и пределе текучести стали 360 МПа расчетная предельная нагрузка P_{sp} превышает 3 МПа. Прочность льда на смятие P_{ice} зависит не только от физико-механических параметров, но и непосредственно от его толщины: по мере увеличения толщины льда возрастает ледовая нагрузка на расчетный элемент обшивки. На рисунке 4 представлена расчетная зависимость изменения величины P_{ice} от толщины льда. Согласно этой зависимости максимальное давление льда на расчетный элемент обшивки будет составлять около 0,7-0,75 МПа при толщине льда около 1,4-1,5 м.

Таким образом, расчетные оценки несущей способности бортовой обшивки средней части корпуса на воздействие льда показали, что ее прочность достаточна для работы танкера в юго-восточной части Баренцева моря в условиях ледовых сжатий любой интенсивности при максимальных толщинах льда, встречающихся в этом районе [1].

Но эти расчеты не приняли во внимание то, что набившийся в кормовой части и продолжающийся набиваться в результате работы модулей Azipod под корпусом лед представляет, куда большую угрозу, чем лед в районе ледового пояса. На рисунке 5 представлены размеры и толщина обшивки ледового пояса носовой и кормовой частей танкера.

По характеру приложения ледовые нагрузки, возникающие при движении танкера во льду, являются локальными, они попеременно действуют на сравнительно небольших участках судна, на форштевень, вдоль борта судна, а при движении кормой вперед, в кормовой оконечности. Следует учитывать, что судно движется кормой вперед только в особенно тяжелых ледовых условиях. Как видно из растяжки, толщина ледового пояса в кормовой оконечности танкера значительно тоньше, чем в носовой. Желательно учесть это при проектировании и строительстве последующих судов и продлить ледовый пояс в кормовой части до 75 шпангоута.

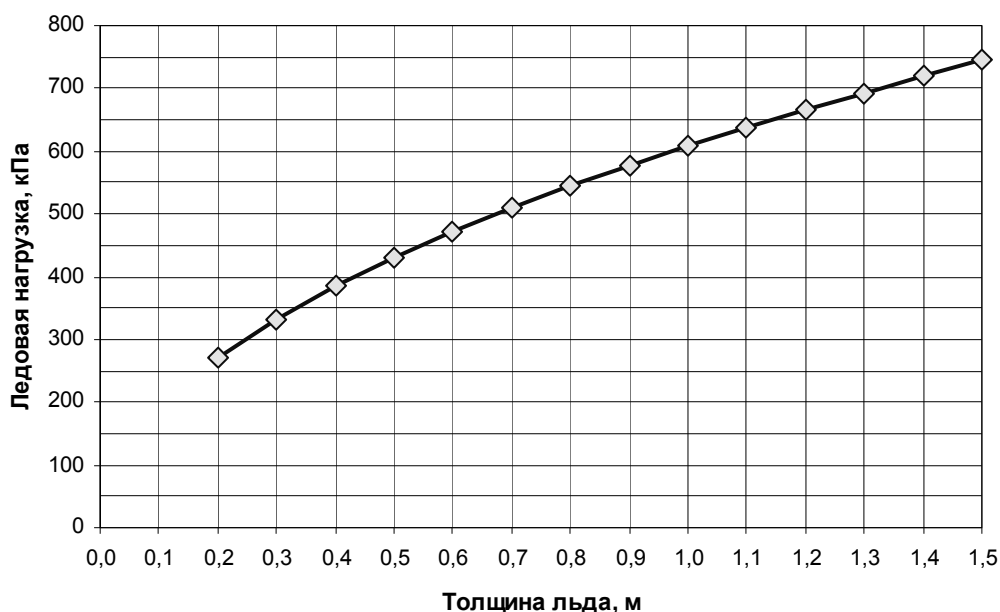
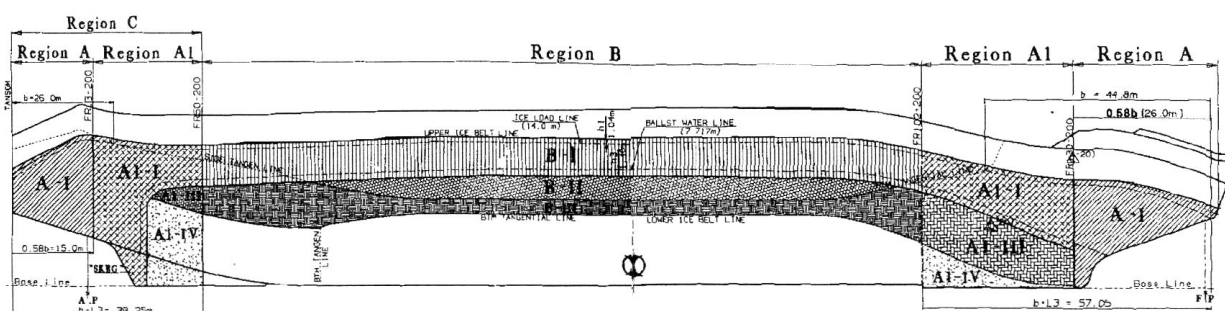


Рисунок 4 – Зависимость максимальной ледовой нагрузки на расчетный элемент обшивки борта от толщины льда



| SYMBOL | REGION | ICE LOAD P (kPa) | SYMBOL | REGION | ICE LOAD P (kPa) |
|--------|----------|------------------|--------|---------|------------------|
| | A - I | 5749 | | A1 - IV | 3823 |
| | A1 - I | 4975 | | B - I | 3823 |
| | A1 - III | 3234 | | B - II | 1911 |
| | A1 - IV | 3823 | | B - III | 1720 |

Рисунок 5 – Растяжка наружной обшивки т/к «Василий Динков»[5]

Танкеры типа «Василий Динков» являются танкерами с двумя категориями ледовых усилений. Так согласно документам регистра ледовый класс зависит от осадки судна: KM * Arc 6 2 AUT1 Oil tanker(ESP) (Arc6 at $d \leq 14,0$ m, Arc4 at $14,0 < d \leq 14,2$ m), так в осенне-зимний период, танкер вынужден брать груза меньше на 1000 т, чтобы соответствовать классу Arc 6, и получит разрешение на выход из порта Варандей. Это ведет к большим экономическим потерям при грузоперевозках. Необходимо учесть этот опыт и во время пятилетнего докования усилить ледовый пояс в кормовой части.

В последнее время начал меняться состав транспортного флота. При освоении нефтегазовых шельфовых месторождений требуются крупнотоннажные танкеры для вывоза углеводородного сырья на экспорт. СОВКОМФЛОТ является на сегодняшний день ведущей мировой судоходной компанией, обеспечивающей транспортировку углеводородов в Арктике. Компанией уже построены пять танкеров дедвейтом 70 тыс. т для месторождения Приразломное и СМЛОП Варандей. Стоимость этих судов, оснащенных модулями Azipod, достаточно велика, но мировые цены на углеводороды перекрывают затраты компаний на добычу и транспортировку. С учётом перспективы развития транспортного флота и организации

круглогодичных перевозок следует уделить особое внимание повышению безопасности эксплуатации танкеров, опираясь на уже полученный опыт и дополнительных модельных испытаниях в ледовых бассейнах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пересыпкин, В.И. Ледовый сертификат на арктические танкеры дедвейтом 70000 т / В.И. Пересыпкин, Л.Г. Цой. -СПб., 2007.
- 2 Azipod [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.abb.com. -14.05.2012.
- 3 Таблица 2.2.3.4-1 // Правила классификации и постройки морских судов / Рос. мор. регистр судоходства. -СПб., 2003. - Ч.1.
- 4 Рекомендации по ледокольному обеспечению швартовно-грузовых операций с танкерами у СМЛОП. -Нарьян-Мар, 2010.
- 5 Hull Structure Design Shell Expansion Arctic Shuttle Tanker Vasily Dinkov SAMSUNG HEAVY IND.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: аzipод, теплоход «Василий Динков», Совкомфлот, ледовый сертификат
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Куличихин Максим Игоревич, соискатель ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О.Макарова»
Развозов Сергей Юрьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О.Макарова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 198035, г.Санкт-Петербург, ул.Двинская, 5/7, ФГБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О.Макарова»

ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ

ФГБОУ ВПО «Мурманский государственный технический университет»

Л.Ф. Борисова, Г.Г. Холодов

THE MARITIME SAFETY ISSUES IN THE EXTRACTION AND TRANSPORTATION OF CARBONACEOUS RAW MATERIAL IN THE EURO-ARCTIC ZONE

Murmansk state technical university

L.F. Borisova, G.G. Kholodov

The specific issues of navigation safety in production and transportation of carbon-containing raw materials in the Euro-Arctic region are considered as well as the ways of solving the problem

Keywords: dynamic positioning, operator, model, safety, mobile vessel traffic services

Рассмотрена специфика проблем безопасности мореплавания при добыче и транспортировке углеродосодержащего сырья в Евро-Арктическом регионе. Предложены пути решения.

Континентальный шельф российских арктических морей является основным резервом стабильного развития отечественного нефтегазового комплекса в XXI веке. Россия на сегодняшний день не способна существенно увеличить долю готовых изделий в своем экспорте. Экспорт жидких углеводородов останется в ближайшем будущем основным источником внешнеторговых валютных поступлений и основным источником финансирования импорта. Концепция развития Арктического региона и решение Морской коллегии при правительстве РФ до 2015 года определяет первой задачей – геологическое изучение и освоение континентального шельфа России, и позволяет вовлечь в хозяйственный оборот углеводородные ресурсы и подготовить геологическое обеспечение заявки России на юридическое закрепление внешней границы континентального шельфа в Северном Ледовитом и Тихом океанах. Для решения этих задач необходимы корабли водоизмещением 1000-2000 т неограниченного или ограниченного районов плавания усиленного ледового класса, оборудованные современной системой динамического позиционирования (ДП) и геофизическими комплексами, буровые и вспомогательные суда.

Существует ряд проблем в этой области, решение которых имеет специфику, связанную с природно-климатическими условиями Арктики. Анализ проблем добычи и морских транспортировок опасных грузов в Евро-Арктическом регионе посвящена настоящая работа.

Специфика проблем безопасности Арктических морских перевозок. Большая часть экспорта нефти и нефтепродуктов осуществляется через морские порты и по трубопроводам. Географические особенности северных районов делают весьма сложной, опасной, неэффективной и дорогостоящей перекачку углеводородного сырья по трубопроводу. Поэтому в Российской Федерации отдают предпочтение танкерному флоту, использование которого в

сложных гидрометеорологических условиях Крайнего Севера создает определенный риск возникновения аварийных случаев (АС) или аварий и, как следствие, экологических катастроф.

Освоение колоссальных природных богатств, сосредоточенных в Арктике и на континентальном шельфе, и их транспортировка требуют особой осторожности, так как здесь мы сталкиваемся с чувствительной окружающей средой и одной из самых уязвимых в мире экосистем. В последнее время экологическая безопасность перевозок стала центральным вопросом при транспортировке нефти морским путем. В Арктике нефтяные разливы более вероятны, а последствия разлива труднее ликвидировать, чем в других регионах. Это связано с недостатком естественного освещения, низкими температурами, динамикой ледяного покрова, сильными ветрами и плохой видимостью. Природно-климатические условия арктических морей не позволяют эффективно ликвидировать последствия разливов нефти. Учитывая это, предупреждение разливов нефти и создание механизмов, регулирующих движение грузовых судов в Арктике, является актуальной задачей, направленной на обеспечение безопасности морских перевозок.

Эффективное информационно-навигационное обеспечение – один из важнейших способов повышения безопасности мореплавания. Однако информационно-навигационное обеспечение плавания в северной части морского района А4 затруднено. Эти трудности в значительной степени обуславливаются удаленностью районов плавания от береговых центров, временной и пространственной изменчивостью высокоширотной ионосферы как среды распространения информационно-навигационных сигналов на высокоширотных радиотрассах берег – судно – берег. Следствием изменчивости ионосферы является нарушение или потеря эффективности работы спутниковых РНС как систем навигации, а также как систем ориентации при динамическом позиционировании судов. В настоящее время все больший интерес проявляется к исследованиям влияния гелиогеофизической обстановки на эффективность функционирования спутниковых навигационных систем (СНС). Проблема эффективности функционирования СНС в различных гелиогеофизических условиях наиболее актуальна при обеспечении безопасного мореплавания и проведении специальных (в частности, требующих динамического позиционирования) работ в высоких широтах (Северный морской путь, нефтеносные и газоносные районы Арктики и бассейн Северной Атлантики). Здесь ионосферные возмущения наблюдаются практически постоянно, меняется лишь степень их интенсивности.

Одной из важнейших задач, решаемых с целью обеспечения разведки и промышленной добычи углеводородного сырья в шельфовой зоне северной части морского района А4, является разработка технологий транспортировки углеводородного сырья и способов эффективного позиционирования буровых и специализированных судов оснащённых системами ДП.

Проблемы ориентации судов, оснащенных системами динамического позиционирования. Промышленная добыча и транспортировка углеводородного сырья с шельфовой зоны северной части морского района А4 невозможны без постоянно проводимой разведки и пополнения состава перспективных морских акваторий, в которых имеются запасы этого сырья. Для осуществления разведочных работ как в России, так и за рубежом используются специализированные суда, оснащенные системами ДП (СДП), позволяющими обеспечивать надежную и точную стабилизацию местоположения судна при выполнении им буровых операций. Удержание судна в заданных координатах с необходимой точностью осуществляется с помощью подруливающих устройств по командам СДП без применения якорей. Доминирующую роль в процессе управления судном с помощью СДП играет навигационная информация, получаемая от американской СНС «NAVSTAR-GPS» и отечественной СНС ГЛОНАСС, точность определения у которой в северных широтах выше, чем у GPS. Значительное падение точности управления процессом позиционирования может привести к выходу бурового судна за пределы установленного сфероида навигационной безопасности; это может привести к экологической катастрофе или навигационному происшествию. Процесс безопасного позиционирования судна при выполнении, например, буровых работ на шельфовой части Мирового океана во многом зависит от правильного и адекватного поведения оператора системы ДП.

Суда и платформы при освоении месторождений Северного Ледовитого океана, с одной стороны, должны отвечать достаточно жестким требованиям, предъявляемым к их мореходным качествам, с другой – классифицироваться по типам оснащённости системами ДП и

в соответствии с ними классифицировать предстоящие операции на шельфе. На аварийность позиционирующегося судна оказывают влияние организационно-технические компоненты системы управления состоянием безопасной эксплуатации (СУБ) и адекватный информационный ресурс, который направляется на минимизацию рисков при маневрировании. Безопасность и точность позиционирования обеспечивается лишь в том случае, если есть необходимая и достаточная информационная избыточность. Такую избыточность способны обеспечить системы ориентации ДП.

Классификация работ под класс судов, оснащенных СДП, в России не приводится ни в документах Российского Морского Регистра Судоходства, ни в Правилах классификации, постройки и оборудования плавучих буровых установок (ПБУ) и морских стационарных платформ, ни в каких-либо других российских нормативных документах. Не классифицированы также системы ориентации, предназначенные для работы в северных широтах. В публикации ИМО «MSC/Circ.645, Руководящие принципы для судов с динамическими системами позиционирования», выработаны правила для классификации СДП судов трех классов по критерию избыточности СДП и связанными с ней отказами. Этой классификации соответствует определение отечественных систем ДП. Причем, ИМО предоставляет право самостоятельно решить оператору судна ДП и его клиенту, к какому классу операций относится предстоящая работа.

Однако классификации систем ДП и подходы к определению класса операций недостаточно полно соответствуют принципам безопасности мореплавания, что особенно существенно для арктических регионов. Определение класса судна с системой ДП и класса работ (операций) на шельфе должно выполняться с учетом рисков операции. Для отечественных морских подрядчиков предлагается следующая классификация судов с СДП [1]:

– Класс 1 должен быть использован во время операции, когда потеря позиции не ставит под угрозу человеческие жизни, наносит существенный ущерб или причиняет больше чем минимальное загрязнение окружающей среды.

– Класс 2 должен быть использован во время операции, когда потеря позиции может вызвать травмы персонала, загрязнение или повреждение с большими экономическими последствиями.

– Класс 3 должен быть использован во время операции, когда потеря позиций может привести к смертельным исходам, сильному загрязнению или повреждению с глобальными экономическими последствиями.

Использование данной классификации способно снизить риски проводимых работ (операций) на шельфе.

Проблемы обеспечения безопасности мореплавания при транспортировке опасных грузов. В последние годы в мире разработкам систем предупреждения нефтяного загрязнения и реагирования на аварийные разливы нефти уделяется большое внимание. Характерно, что усилия по обеспечению экологической безопасности в основном направлены на разработку мероприятий по раннему обнаружению разливов нефти и быстрому реагированию на них. Однако, учитывая особенности арктического климата и ожидаемый значительный рост интенсивности потоков опасных грузов этого явно недостаточно. Необходимы дополнительные мероприятия по предотвращению АС при транспортировке опасных грузов, в первую очередь, превентивные мероприятия, предотвращающие столкновения судов.

Наиболее эффективным средством обеспечения безопасности при плавании вблизи берегов признаны системы управления движением судов (СУДС/VTS), осуществляющие контроль над их нахождением и соблюдением экипажами судов правил мореплавания, а также помогающие при возникновении АС и затруднениях в определении местоположения. Однако районы добычи природных ископаемых в прибрежном шельфе, в которых судоходство характеризуется повышенной степенью экологического риска, не попадают в сферу деятельности современных СУДС.

Решение подобных проблем предлагается с помощью использования специальных территориально локализованных мобильных систем управления движением судов (МСУДС/MVTS – Mobile Vessel Traffic Services, по аналогии с СУДС/VTS) [2]. Разрабатываемые МСУДС отличаются локальностью акватории обслуживания, оперативность, быстрота развертывания и прекращения действия, глубокая формализуемость процедур управления, ориентированная на использование современных информационных технологий и средств реализации, которая существенно снижает негативное влияние человеческого фактора в принятии решения, простота реализации, мобильность. МСУДС не требовательны к техни-

ческим и энергетическим ресурсам, не критичны к району базирования, наземному или надводному, и способны обеспечить безопасное мореплавание в любом районе с интенсивным судоходством, включая удаленные морские акватории, на которые не распространяется действие современных стационарных СУДС. МСУДС может быть временно или на постоянной основе развернута в любой местности для обеспечения обслуживания плавучих средств в речной или озерной местностях. Для реализации МСУДС могут быть использованы стандартные технические ресурсы порта, включая технические средства обеспечения контроля и идентификации судов и других плавучих средств – АИС, РЛС, САРП; физические каналы передачи и средства реализации процедур информационного обмена между компонентами системы – ГМССБ, ТВ, средства радиосвязи, вычислительные средства (ЭВМ) и программное обеспечение. Информационная поддержка МСУДС не требует сколько-нибудь значительных вычислительных мощностей и может быть реализована на базе средств малой вычислительной техники и доступных мобильных телекоммуникационных средств с обеспечением мобильности абонентов (судов) и операторов Центра МСУДС и сохранением доступа к сетям GSM/GPRS, Интернет и корпоративным сетям (интранет). Центр МСУДС может быть размещен в береговых помещениях или совместно с Центром СУДС, а также иметь водное базирование, например на флагманском судне. Реализация взаимодействия служб в МСУДС на базе эталонной модели взаимодействия открытых систем (Open System Interconnection – OSI) Международной организации по стандартизации (International Organization of Standardization – ISO) с помощью протоколов и стандартов, регламентирующих нормализованные процедуры обеспечения безопасности мореплавания, а также взаимодействие элементов системы при установлении связи и передаче управляющих решений (рекомендаций) обеспечивает доступность МСУДС для взаимодействия с другими системами в соответствии с действующими стандартами.

Использование классификации судов с СДП и работ (операций) с учетом рисков операции, а также специализированных мобильных систем управления движением судов в районе добычи полезных ископаемых способны повысить безопасность мореплавания в Евро-Арктическом регионе.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Холодов, Г.Г. Требования национальных морских классификационных обществ к работам на морском шельфе и системам ориентации судов, оснащенных системами динамического позиционирования и их классификация / Г.Г. Холодов // Вестн. МГТУ. -2010. -Т.13, №4. -С. 712-718.

2 Борисова, Л.Ф. Мобильная система управления движением судов для обеспечения безопасности мореплавания на акватории с интенсивным судоходством: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.19 / Л.Ф. Борисова. -Мурманск, 2005. -175 с. -РГБ ОД 61:06-5/207.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *позиционирование, оператор, модель, безопасность, мобильная система управления движением судов*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Борисова Людмила Федоровна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»
Холодов Геннадий Григорьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *183010, г.Мурманск, ул.Спортивная, 13, ФГБОУ ВПО «МГТУ»*

УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.В. Баранов, С.В. Тарасевич, В.А. Вагнер

IMPROVING PERFORMANCE TRIBOTECHNICAL LUBRICATING MINERAL-OILS

Altai state technical university named I.I.Polzunova

A.V. Baranov, S.V. Tarasevich, V.A. Wagner

The analysis of the processes in the contact surfaces of friction. Proposed a set of additives to improve the tribological characteristics of lubricating oils.

Keywords: surface friction, tribological characteristics, the lubricating oil

Выполнен анализ процессов в контакте поверхностей трения. Предлагается комплекс присадок для улучшения триботехнических характеристик смазочных масел.

Улучшение триботехнических характеристик смазочных сред для кинематических пар является актуальной задачей транспортного машиностроения. Одним из традиционных методов снижения сил энергетических потерь на трение и изнашивания на сегодняшний день является использование различных пленкообразующих легирующих компонентов, вводимых в состав смазочных материалов в виде присадок, не влияющих на первоначальные химические свойства исходного материала смазки. Эти присадки в процессе работы сопряжения образуют на поверхностях трения малопрочные адсорбированные слои высокомолекулярных веществ, либо более прочные хемосорбированные слои, как правило, соединений серы, хлора, фосфора и т.д. Особую группу занимают так называемые металлоплакирующие присадки, формирующие на трущихся поверхностях пленки мягких металлов, имеющие также экранную функцию, но более прочную.

На рисунке 1 приведен внешний вид фрикционных поверхностей при использовании в пластичном смазочном материале металлоплакирующей присадки мелкодисперсного порошка чистой меди, наблюдаемый нами только в «закрытых», малоконтактирующих с окружающей средой, сопряжениях. Поверхность непосредственного контакта, в данных случаях, покрывается защитной пленкой меди почти полностью [1].

Указанный положительный эффект компенсации износа, как то повышение «компрессии» в ДВС (достаточно временном), широко разрекламирован рядом производителей присадок. Однако, на наш взгляд, этот способ повышения промышленной эффективности смазочных масел не является универсальным и полезным для широкого круга кинематических пар.

Согласно современным представлениям необходимым условием внешнего трения является увеличение сдвигового сопротивления при удалении от поверхности вглубь материала – «правило положительного градиента».

Исходя из этих позиций, сдвиговая прочность модифицирующих защитных слоев не должна превышать прочности подложки и должна уменьшаться при удалении от основного материала.

В зависимости от режима для нормальной работы сопряжения в условиях внешнего трения необходимо различное модифицирование поверхности. В условиях легких режимов достаточно иметь адсорбированный слой (имеющий достаточно большую прочность на сжатие и минимальную на сдвиг), обеспечивающий малый коэффициент трения. Для повышения несущей способности таких слоев адсорбат должен иметь по возможности длинные полярные молекулы, образующий квазиполимерный одно-многомолекулярные адсорбционные слои.

Жесткие режимы требуют наличие более прочных слоев. В противном случае могут



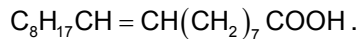
Рисунок 1 – Внешний вид поверхностей трения образцов возвратно-поступательного и торцевого трения при медьсодержащем смазочном материале

возникать местные ювенильные металлические связи, если не приводящие к задирам, то вызывающие общеинтегральное повышение сопротивления сдвигу. Роль модифицированных слоев, в данном случае, заключается в способности насыщать свободные связи кристаллической решетки ювенильных поверхностей, обнажающихся в процессе пластической деформации при трении, препятствовать их схватыванию и разрушению на глубину. Это можно также обеспечить созданием металлоплакирующих слоев, но желательно, только в местах жесткого микроконтакта.

Таким образом, прочность и тип защитных слоев, их локализация, а, следовательно, и тип присадки, должен соответствовать локальному режиму трения. Ситуация осложняется тем, что распределение высот микронеровностей поверхностей имеет сложный стохастический характер, при этом, в одной паре будут иметь место легко- и тяжело нагруженные микроконтакты. Решению обеспечения генерации соответствующих защитных слоев в реальных парах и посвящена данная работа.

Данная задача, с нашей точки зрения, может быть частично решена созданием на поверхности многослойной структуры третьего тела, расположив слои таким образом, чтобы прочность возрастала при приближении к основному материалу поверхности. Тогда при возможном разрушении верхних слоев, в работу вступают низлежащие слои – более прочные, хотя и имеющие большее сопротивление сдвигу.

В настоящей работе сделана попытка достичь данного эффекта применением в составе смазочного материала адсорбционного слоя жирной олеиновой кислоты



Для экранирования разрушительного воздействия адсорбата необходимы дополнительные возобновляемые нижележащие подслои. По этой причине смазочный материал был дополнительно легирован пленкообразующими компонентами – неорганическими соединениями хлоридов меди $CuCl_2$ или олова $SnCl_4$, генерирующими возобновляемые подслои в условиях жестких микроконтактов.

Задача осложнялась тем, что галогениды металлов практически нерастворимы в минеральных маслах. В нашем случае для получения растворимой среды был применен одноатомный спирт – октанол, который относительно хорошо растворяет соли и совмещается с маслами, давая стабильные композиции.

Сравнительные испытания базового химически инактивного промышленного трансмиссионного масла и модифицированного проводились на машине радиального трения по схеме: ролик-колодка пары сталь-сталь с использованием добавки к маслу высокомолекулярной олеиновой кислоты и комплекса присадок [2]. Результаты изменения относительных сил трения в функции времени приведены на рисунке 2.

Кривая 1 соответствует кинетике изменения относительных сил трения, предварительно приработанного сопряжения, смазываемого базовым смазочным материалом (М). Базовый смазочный материал представляет собой химически инактивное масло промышленное И-20А. Величина относительных сил трения, соответствующая установившемуся режиму данного случая принята за единицу. Добавка к маслу высокомолекулярной жирной олеиновой кислоты (ОЛ) ведет к значительному падению сил трения за счет создания упорядоченного квазиполимерного адсорбционного слоя (кривая 2). Однако износные характеристики сопряжений на основании опыта исследований в некоторых случаях могут ухудшаться. Дополнительное введение раство-

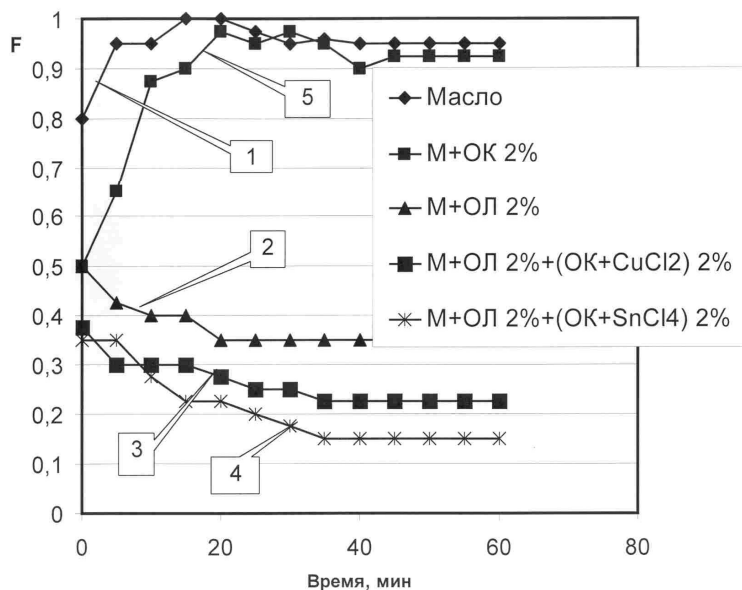


Рисунок 2 – Кинетика относительного коэффициента трения в функции времени работы сопряжения

ренных в октаноле хлоридов, создающих добавочные подслои, приводит к большему эффекту (кривая 3 и 4). Картина последнего эффекта нам представляется следующим образом.

Жесткие условия микроконтактов и разрушение адсорбционного слоя, сопровождаемое температурными вспышками, приводят к местному разложению солей с последующим формированием полимолекулярного слоя хлоридов железа $FeCl_2$, $FeCl_3$. Наличие активных свободных ионов металла, после разложения вводимой соли, влечет к образованию дополнительной металлоплакирующей пленки, имеющей более низкий предел сдвига по отношению к стали, формирующейся только в проблемных местах. Лучшие антифрикционные свойства олова объясняются неспособностью этого металла к наклепу. В отличие от меди оно неспособно к образованию твердых упрочненных коагулятов и жесткому абразивному воздействию на поверхность.

Заметим также, что указанные подслои являются регенерируемыми и образуются только в условиях жесткого микроконтакта, кроме того они экранируют размягчающее воздействие олеиновой кислоты на локально активированный основной материал сопряжений. Данное воздействие она оказывает лишь на возобновляемый защитный подслои хлоридов железа, который при разрушении регенерируется вновь.

Кривая 5, соответствующая маслу, с введенным в него октанолом (ОК), показывает, что сам низкомолекулярный спирт, использованный в качестве растворителя, не образует достаточно эффективной адсорбционной пленки и на режим трения практически не влияет.

Таким образом, используя указанные композиционные присадки, возможно снижение потерь на трение до 5 раз.

Также в проведенных исследованиях с использованием указанных смазочных композиций было отмечено понижение интенсивности изнашивания до 20 раз.

Отметим, что аналогичные результаты нами были получены и в паре трения сталь-алюминиевые сплавы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Лебедев, В.М. Об использовании в узлах трения пластичных смазочных материалов / В.М. Лебедев, А.В. Баранов // Долговечность трущихся деталей машин. 1989. -Вып. 4. -С. 30-36.

2 Баранов, А.В. Повышение эффективности смазочных сред / А.В. Баранов, В.А. Вагнер, С.В. Тарасевич // Тяжелое машиностроение. -2007. -№12. -С. 24-25.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *поверхность трения, трибологические характеристики, смазочное масло*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Баранов Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»*
Тарасевич Светлана Владимировна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Вагнер Виктор Анатольевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ МИНИ-ТЭЦ

**ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет
им. И.И. Ползунова»**

С.П. Кулманакон, С.С. Кулманакон

IMPROVEMENT PROGRAM CONTROL MODULES GAS MINI-CHP
Altai state technical university named I.I.Polzunova
S.P. Kulmanakov, S.S. Kulmanakov

The possibility of improving energy efficiency gas engines by off section of the cylinders and change the air-fuel ratio. Proposed to improve the management program with a gas-piston engine electronic control system.

Keywords: gas engine, the electronic control system

Рассмотрена возможность повышения энергоэффективности газопоршневых двигателей за счет отключения части цилиндров и изменения коэффициента избытка воздуха. Предлагается улучшение программы управления газопоршневого двигателя с электронным блоком.

В настоящее время все большее внимание уделяется развитию индивидуальных энергетических установок. Децентрализация энергоснабжения обеспечивает ряд преимуществ:

малые потери при транспортировке тепловой и электрической энергии по сравнению с системами централизованного тепло- и электроснабжения; автономность функционирования (независимость от энергосистемы) и возможность продажи в энергосистему излишков вырабатываемой электроэнергии; улучшение экономических показателей энергоустановок за счет выработки в них кроме тепловой, также электрической энергии; повышение надежности теплоснабжения, так как возможные перебои в электроснабжении не приводят к прекращению работы теплоисточника; более низкая себестоимость тепловой и электрической энергии по сравнению с системами централизованного тепло- и электроснабжения.

Наибольшее распространение в качестве мини-ТЭЦ получили когенерационные установки на базе поршневых двигателей, обеспечивающие совместную выработку электрической и тепловой энергии, возможность получения необходимой мощности в широком диапазоне за счет увеличения количества агрегатов, высокий КПД, высокую степень автоматизации и продолжительный срок службы. При этом, в качестве топлива наиболее выгодным является применение различных видов газов: природного, биогаза, шахтного и других.

Однако при эксплуатации газопоршневых мини-ТЭЦ возникает ряд проблем, требующих решения. К ним относятся: оптимизация рабочего процесса, для повышения КПД; возможность применения различных типов газового топлива; повышение моторесурса ДВС; возможность адаптации регулировок двигателя в зависимости от нагрузки, вида топлива, окружающих условий и др.

Наиболее полно решить эти проблемы позволяет применение газовых топливных систем четвертого поколения. Отличительными особенностями данных систем являются: индивидуальные газовые инжекторы с электронным управлением, обеспечивающие фазированную подачу топлива; электронное управление топливоподачей, параметрами системы зажигания и воздухомоснабжением; блок управления на основе мощного цифрового процессора; расширенный набор измерительных датчиков и исполнительных механизмов. Изменение параметров электронного впрыска может происходить очень быстро, так как управление осуществляется программно, и может учитывать большое число программных функций и данных с датчиков. Также современные системы электронного впрыска способны адаптировать параметры рабочего процесса под конкретный экземпляр ДВС и его условия работы. Электрическая схема разработанной системы управления газопоршневого двигателя [2, 4] представлена на рисунке 1.

К особенностям предложенной системы следует отнести наличие дополнительных датчиков температуры отработавших газов и содержания количества оксидов азота в отработавших газах, позволяющих обеспечить расширенные возможности по управлению рабочим процессом двигателя и дополнительные диагностические функции, что является основным требованием для повышения экономичности и улучшения экологических показателей.

Для двигателей с искровым зажиганием одним из основных недостатков является значительное увеличение удельного расхода топлива по мере снижения мощности. Переход на качественное регулирование мощности позволяет улучшить КПД и снизить удельный расход топлива при уменьшении мощности. Для газовых топлив, имеющих расширенный диапазон воспламеняемости топливовоздушной смеси по коэффициенту избытка воздуха, возможна организация качественного регулирования мощности при максимальном открытии дроссельной заслонки и изменении количества подаваемого газа за счет варьирования времени открытия газового инжектора.

Повышение требований к топливной экономичности привлекло большое внимание к регулированию мощности комбинированным способом: изменением количества или качества подаваемой горючей смеси и действительного рабочего объема двигателя. Среди большого числа конструктивных решений, известных по патентной литературе и экспериментальным работам, наиболее простой в реализации схемой является отключение части цилиндров. Прекращение впрыскивания топлива может производиться для одного или нескольких цилиндров с соответствующим увеличением подачи топливовоздушного заряда в другие работающие цилиндры. Также в двигателях с регулируемой цикловой подачей топливо может впрыскиваться во все цилиндры, с пропуском заданного числа циклов при соответствующем увеличении цикловой подачи топлива по определенной программе электронной системы.

Для предложенной топливной системы был разработан алгоритм регулирования мощности сочетающий вышеназванные подходы – применение качественного регулирования и отключения части цилиндров [1, 3]. Рисунок 2 иллюстрирует алгоритм комбинированного регулирования мощности.

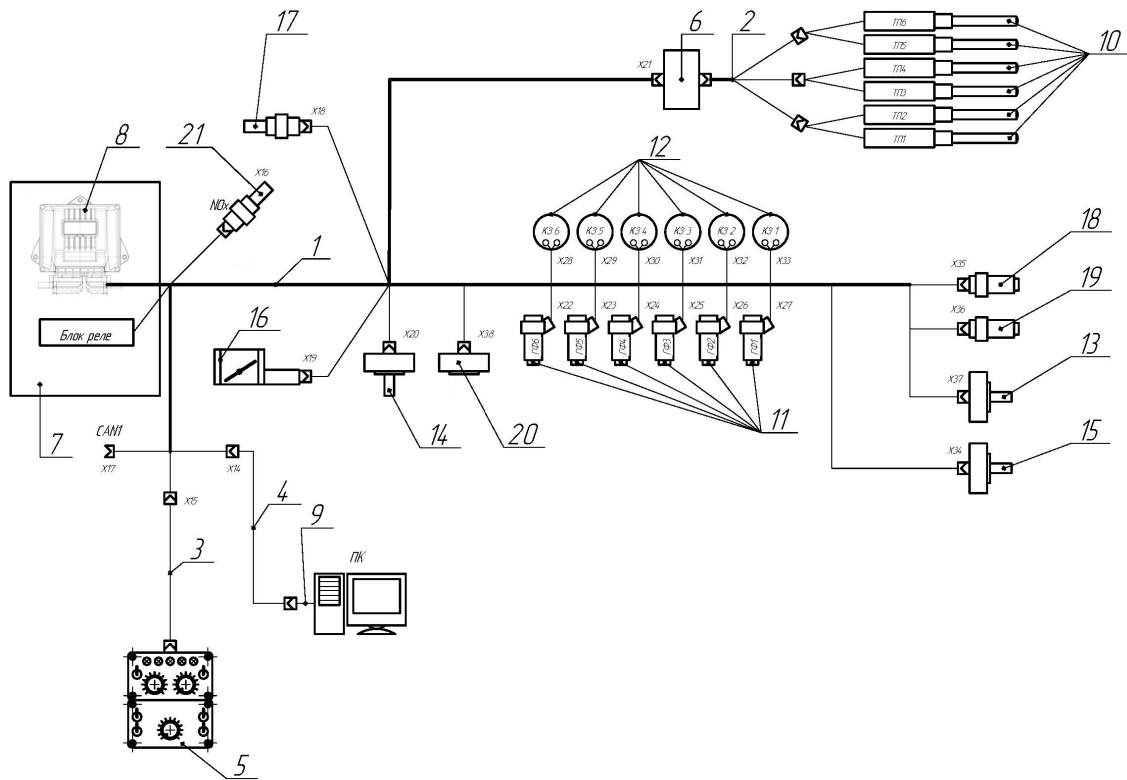


Рисунок 1 – Электрическая схема системы питания газом газопоршневого двигателя: 1-кабель общий; 2-кабель термопар; 3-удлинитель пульта; 4-удлинитель кабеля связи, 5-пульт управления; 6-коммутатор термопар; 7-монтажный корпус электронного блока управления (ЭБУ); 8-ЭБУ; 9-компьютер; 10-термопары; 11-газовые инжекторы; 12-модули зажигания; 13-датчик давления и температуры масла; 14-датчик давления и температуры воздуха; 15-датчик давления и температуры газа; 16-электронная дроссельная заслонка; 17-датчик температуры охлаждающей жидкости; 18-датчик частоты вращения коленчатого вала; 19-датчик положения распределительного вала; 20-датчик детонации; 21-датчик количества оксидов азота в отработавших газах

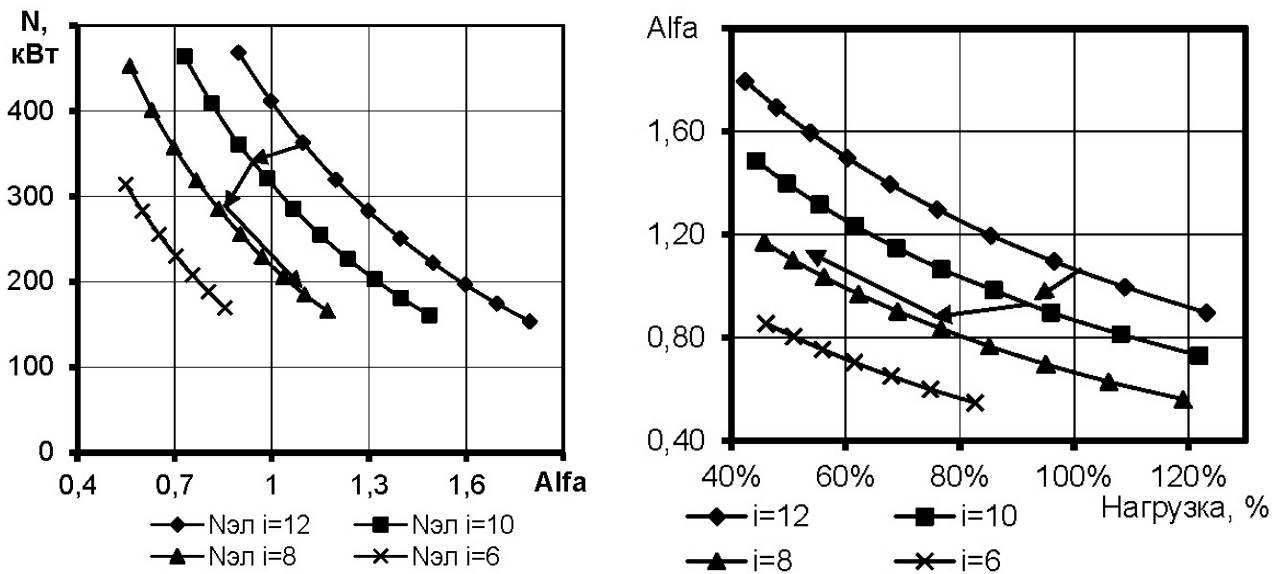


Рисунок 2 – Регулирование мощности комбинированным способом за счет качественного регулирования и отключения части цилиндров

Отключение более четырех цилиндров при одновременном увеличении цикловой подачи газа на 100% сильно обогащает газоздушную смесь в область верхнего концентраци-

онного воспламенения смеси $\alpha = 0,65$. Нижний концентрационный предел природного газа составляет $\alpha = 2,00$.

Отключение цилиндров позволяет работать газовому двигателю на долевых режимах с коэффициентом избытка воздуха около 0,9. Такой состав смеси позволяет работать с максимальной отдачей мощности при минимальных выбросах окислов азота, но максимальных выбросах окиси углерода CO, который возможно утилизировать дожиганием. Отключение цилиндров позволяет поддерживать уровень максимального давления сгорания постоянным, сохраняя механическую нагруженность деталей ЦПГ на постоянном уровне.

Наличие дополнительных датчиков температуры отработавших газов и содержания оксидов азота в отработавших газах позволяет ввести корректировку параметров топливоподачи и системы зажигания, учитывающую состав газового топлива и окружающие условия с целью повышения энергоэффективности и улучшения экологических показателей.

Для обеспечения максимальной энергоэффективности газопоршневой мини-ТЭЦ необходимо обеспечить комбинированное управление мощностью: в диапазоне от 50 до 100% мощности осуществлять качественное управление мощностью за счет изменения цикловой порции при полностью открытой дроссельной заслонке и отключении части цилиндров, в диапазоне до 50% мощности необходим переход на количественное регулирование мощности за счет изменения положения дроссельной заслонки.

Внедрение отключения части работающих цилиндров позволяет обеспечить повышение экономичности мини-ТЭЦ от 1 до 7% (по эффективному КПД) в зависимости от режима работы.

За счет внедрения комбинированного регулирования мощности и отключения части работающих цилиндров на частичных режимах возможно обеспечить следующие показатели в диапазоне от 40 до 110% электрической мощности:

- электрический КПД 31-33%;
- тепловой КПД 52-55%;
- общий КПД миниТЭЦ 80-85%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Кулманаков, С.П. Математическое прогнозирование выбора параметров электронного управления подачей газа и процесса сгорания для повышения энергоэффективных показателей газопоршневых мини-ТЭЦ / С.П. Кулманаков, С.С. Кулманаков, М.Э. Брякотин // Двигатели внутреннего сгорания / НТУ «ХПИ». -Харьков, 2012. -№2. -С. 21-25.
 2 Кулманаков, С.П. Повышение энергоэффективности газопоршневых мини-ТЭЦ с перспективной системой питания / С.П. Кулманаков, С.С. Кулманаков // Вестн. двигателестроения / НАУ «ХАИ». -Запорожье, 2011. -№2. -С. 123-126.
 3 Кулманаков, С.П. Разработка алгоритма управления газопоршневым двигателем с индивидуальными инжекторами / С.П. Кулманаков, М.Э. Брякотин, С.С. Кулманаков // Ползунов. вестн. / РИНЦ. -2012. -№3. -С. 132-140.
 4 Пат. 106662 Российская Федерация, МПК 51 F 02 В 63/04, F 02 D 19/02, F 02 P 3/00. Газопоршневая энергетическая установка / С.П. Кулманаков, С.С. Кулманаков. -№2011107902/03; заявл. 01.03.11; опубл. 20.07.11, Бюл. №20.

Работа выполнена при поддержке федеральной целевой программы (ФЦП) «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: газопоршневой двигатель, электронная система управления
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Кулманаков Сергей Павлович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
 Кулманаков Сергей Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ В ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

Е.В. Чупраков

SELECTION OF THE OPTIMAL LOCATION OF THE BEARINGS IN THE WHEEL PAIR AXLE DIFFERENTIAL PERFORMANCE
 Irkutsk state transport university
 E.V. Chuprakov

Considered the proposed technical solution wheel pair axle differential performance, determine the optimum location of the bearings in the axle and calculated the loads falling on them under static loading conditions

Keywords: wheelset, axle

Рассмотрено предлагаемое техническое решение оси колесной пары дифференциального исполнения, определено оптимальное местоположение подшипников в данной оси и выполнен расчет нагрузок приходящихся на них при статическом режиме нагружения.

Улучшение взаимодействия в системе «колесо-рельс» связано с повышением ресурса колес и рельс, а так же с экономией топливо-энергетических ресурсов на тягу поездов. Вышесказанное возможно осуществить за счет новых технических решений, меняющих организацию работ ходовых частей подвижного состава и устраняющих недостатки типовых конструкций ходовых частей подвижного состава [1].

Перспективным направлением являются технические решения обеспечивающие независимость вращения колес в конструкции колесной пары относительно друг друга. Эффект заключается в снижении продольных сил проскальзывания и компенсации разности длины рельсовых нитей при движении подвижного состава в кривых участках пути, что позволяет снизить направляющие усилия и тем самым снизить износ как колес, так и рельсов. При движении в прямых участках пути, за счет независимого вращения колес, производится компенсация паразитных сил трения (проскальзывания), что уменьшает интенсивность влияния подвижного состава и повышает устойчивость его движения, в результате появляется возможность повышения технической скорости движения поездов.

Одно из таких решений разрабатывается при участии автора на кафедре Электроподвижной состав Иркутского государственного университета путей сообщения, которое включает в себя новую конструкцию оси колесной пары вагона, обеспечивающую независимость вращения колес, которая устанавливается на место типовых колесных пар в тележке вагона (рисунок 1).

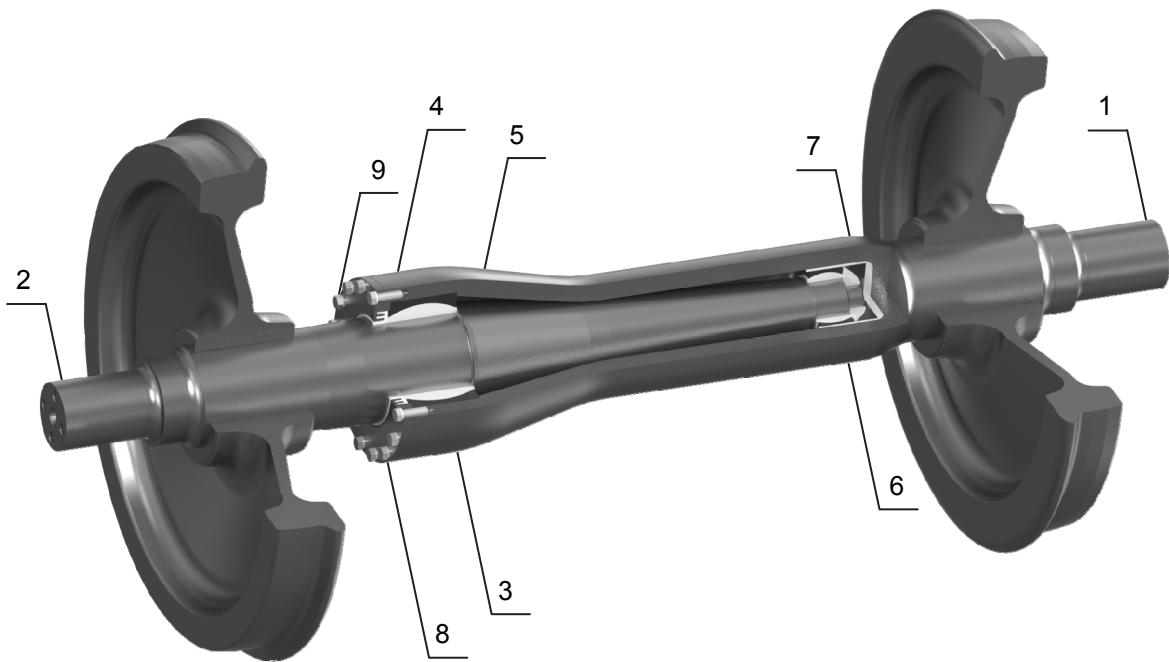


Рисунок 1 – Колесная пара подвижного состава с независимым вращением колес

Основная цель конструктивного совершенствования колесной пары – реализовать докритический уровень относительного скольжения в контакте каждого колеса с рельсом и исключить взаимное влияние неодинаковых условий контактирования обоих колес. Это обеспечит минимизацию износа контактных поверхностей колеса и рельса при движении как в прямых, так и в кривых участках пути: позволит уменьшить влияние подвижного состава при движении в прямых участках пути и увеличить коэффициент устойчивости от схода в кривых участках пути. В конечном счете, такая конструкция позволит повысить скорость движения подвижного состава, сократить эксплуатационные расходы и поднять производительность железной дороги в целом.

Ось предлагаемой колесной пары состоит из двух полуосей с полостью 1 и сплошного сечения 2 (рисунок 1). Подшипник скольжения 3 вместе с лабиринтным кольцом 4 насаживаются со стороны колеса на полуось 2 до упора в бурт 5, на другом конце полуоси 2 на

шейку производится монтаж радиального 6 и упорного 7 подшипников скольжения. Соединение полуосей осуществляется крышкой 8 при помощи болтов 9. Крышка 8 за счет выполненных на внутренней стороне проточек образует с лабиринтным кольцом 4 уплотнение (лабиринт), которое защищает подшипники от попадания пыли, влаги и грязи. Герметизация соединения крышки с корпусом подшипника осуществляется резиновым кольцом-прокладкой, которое одевается на крышку. Своим выступом крышка упирается в наружное кольцо подшипника 3.

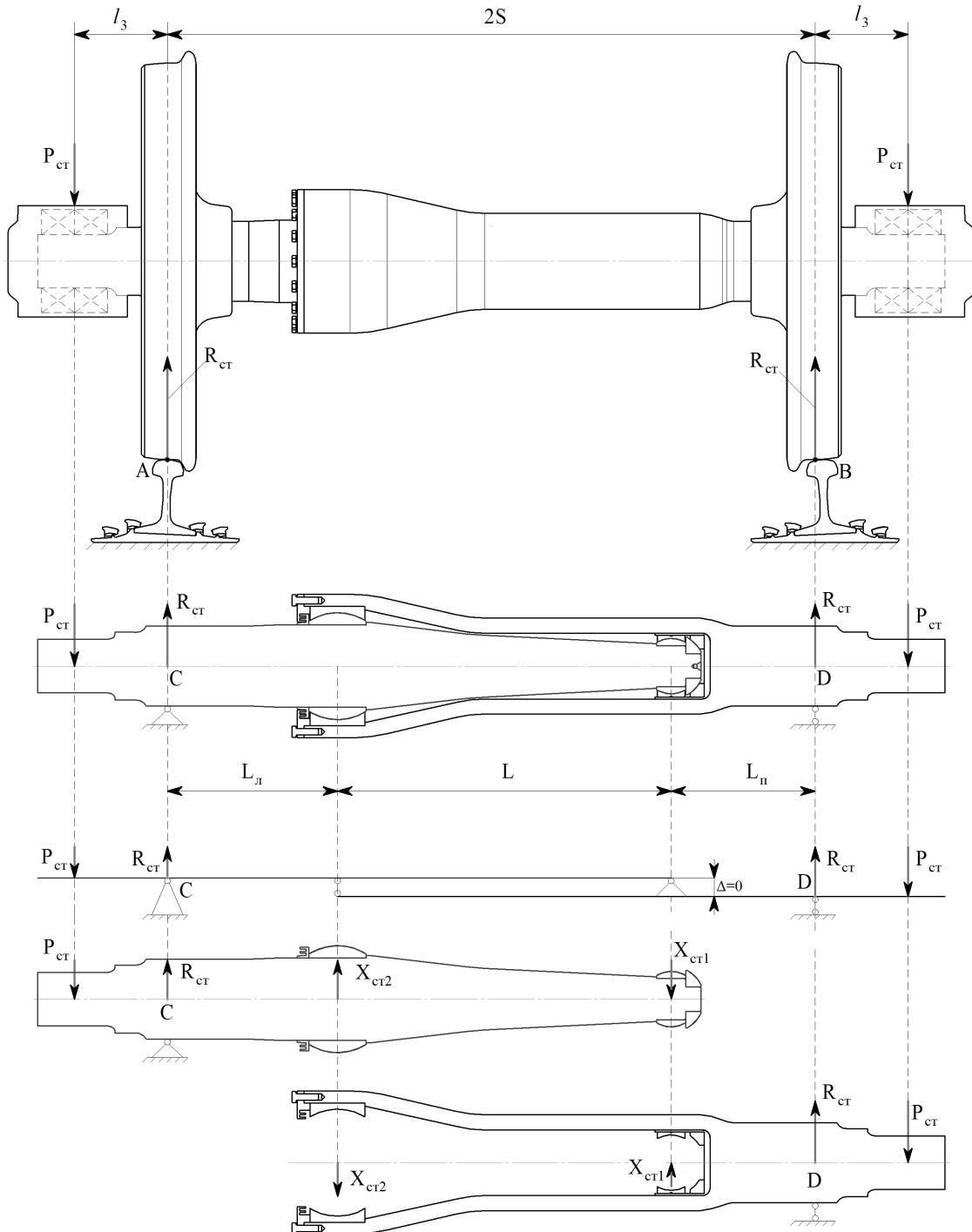


Рисунок 2 – Расчётная схема определения, действующих на подшипники нагрузок в оси дифференциального исполнения при статическом режиме нагружения колесной пары: $R_{ст}$ - вертикальная реакция рельса на колесо от действия статической нагрузки; $2S$ - расстояние между кругами катания колесной пары

Независимость вращения колес у колесной пары обеспечивается подшипниками 3, 6 и 7. Осевая целостность колесной пары обеспечивается упорным буртом 5, выступом на крышке 8 и подшипником скольжения 3, способным воспринимать осевые нагрузки. Во вре-

мя движения колесной пары полуось 2 стремится выйти из полости полуоси 1 и упорным буртом 5 упирается во внутреннее кольцо подшипника 3. Далее через поверхности скольжения колец подшипника усилие передается на наружное кольцо подшипника 3, которое упирается в выступ на крышке 8. Крышка 8 болтами 9 соединена с полуосью 1.

Колесная пара в процессе эксплуатации испытывает воздействие почти всех нагрузок, действующих на вагон. Поэтому для определения оптимального места расположения подшипников 3, 6 и 7 в оси колесной пары рассмотрим режим нагружения оси от действия статической нагрузки (рисунок 2).

Для определения величины статической нагрузки, приходящейся на подшипники X_{cm1} , X_{cm2} в оси колёсной пары дифференциального исполнения, составим уравнения равновесия (1) и (2) относительно опорных точек А и В на основании расчётной схемы, представленной на рисунок 2.

$$\sum M_A = 0; P_{cm} \ell_3 + X_1 L_n - X_{cm2} (L_n + L) = 0 \quad (1)$$

$$\sum M_B = 0; -P_{cm} \ell_3 + X_2 L_n - X_{cm1} (L_n + L) = 0, \quad (2)$$

где P_{cm} – вертикальная статическая нагрузка, приложенная к шейке оси колёсной пары;

X_{cm1} , X_{cm2} – статическая нагрузка, приходящаяся на подшипники соответственно 3 и 6 оси колесной пары дифференциального исполнения;

L_n , L_n – расстояние от линии круга катания колеса до ближайшего подшипника соответственно 3 и 6;

ℓ_3 – расстояние от линии приложения вертикальной силы P_{cm} к шейке оси до линии круга катания колеса;

L – расстояние между подшипниками скольжения в оси колёсной пары дифференциального исполнения.

Из уравнения (2) определим усилие X_{cm2} . Проведя алгебраические преобразования, получим величину статической нагрузки, приходящейся на радиальный подшипник внутреннего подшипникового узла колесной пары

$$X_{cm2} = \frac{X_{cm1} (\ell_n + L) - P_{cm} \ell_3}{\ell_n} \quad (3)$$

Для определения статической нагрузки, приходящейся на наружный радиальный подшипник скольжения X_{cm1} , подставим полученное выражение (3) в уравнение (1), получим

$$P_{cm} \ell_3 + X_{cm1} \ell_n - \left(X_{cm1} + X_{cm1} \frac{L}{\ell_n} - \frac{P_{cm} \ell_3}{\ell_n} \right) \ell_n - \left(X_{cm1} + X_{cm1} \frac{L}{\ell_n} - \frac{P_{cm} \ell_3}{\ell_n} \right) L = 0.$$

После упрощения

$$X_{cm1} = P_{cm} \frac{\ell_3}{L}. \quad (4)$$

Полученное выражение (4) подставим в выражение (3) и определим величину усилия X_{cm2} . Проведя алгебраические преобразования, получим численную нагрузку, приходящуюся на радиальные подшипники скольжения при статическом режиме нагружения колесной пары

$$X_{cm2} = X_{cm1} = P_{cm} \frac{\ell_3}{L}. \quad (5)$$

Из полученного уравнения (5) можно сделать вывод, что чем больше расстояние между радиальными подшипниками скольжения, тем меньше рабочая нагрузка, приходящаяся на них. Поэтому для уменьшения радиальных сил приходящихся на подшипники при проектировании колёсной пары дифференциального исполнения в конструкции оси была обеспечена наибольшая длина $L = 870$ мм между ними.

В таблице приведены расчеты сил X_{cm1} , X_{cm2} приходящихся на подшипники в оси колесной пары при груженом и порожнем состоянии вагона. На основании результатов расчета

Таблица – Сводная таблица усилий, действующих на подшипники в оси колёсной пары дифференциального исполнения

| Состояние вагона | Усилие, кН | | |
|------------------|------------|-----------|-----------|
| | P_{cm} | X_{cm1} | X_{cm2} |
| Груженое | 115 | 27,7 | 27,7 |
| Порожнее | 30 | 5,8 | 5,8 |

видно, что численные значения усилий X_{cm1} , X_{cm2} в подшипниках оси более чем в четыре раза меньше, чем усилия P_{cm} , приходящиеся на буксовые шейки оси колёсной пары.

На основании разработанного метода определения оптимального местоположения подшипников в оси колёсной пары подвижного состава и нагрузок, приходящихся на них при статическом режиме нагружения был скорректирован эскизный проект разрабатываемой оси колесной пары дифференциального исполнения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Анализ эксплуатации современных тележек грузовых вагонов в кривых участках пути и предлагаемое решение по улучшению их работы / Е.В. Чупраков, О.В. Мельниченко, А.Н. Танцури, В.В. Павлов // Вестн. ИргТУ. -Иркутск, 2011. -№8(55). - С. 125-131.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: колесная пара, ось
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Чупраков Егор Владимирович, ассистент ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664074, г.Иркутск, ул.Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПУСКА ДИЗЕЛЯ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ТЭМ-2

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»**

С.В. Макаров, Е.Г. Гурова, А.В. Ледовских

MODERNIZATION OF ENGINE STARTSHUNTING DIESEL LOCOMOTIVE TEM-2

**Novosibirsk state academy of water transport
Novosibirsk state technical university
S.V. Makarov, E.G. Gurova, A.V. Ledovskih**

In this paper the parallel operation of the electric double layer capacitor and the battery in the system start-up diesel shunting locomotive TEM-2. The data field tests, shows the characteristics of the starting procedure, the advantages of the proposed two-stage system start-up.

Keywords: diesel, starter

Рассмотрена параллельная работа конденсатора двойного электрического слоя и аккумуляторной батареи в системе пуска дизельного двигателя маневрового тепловоза ТЭМ-2. Приведены данные натурных испытаний, представлены характеристики процесса пуска, показаны преимущества предложенной двухэтапной системы пуска.

На железных дорогах (ЖД) России эксплуатируется значительное количество тепловозов, которые выработали свой ресурс. Однако, в связи со значительными материальными затратами, связанными с разработкой и введением нового подвижного состава, в последнее время все большее значение приобретает совершенствование эксплуатируемых тепловозов с целью повышения их энергетической эффективности, что способствует сокращению расхода топлива при простое (глушение двигателя с последующим гарантированным запуском).

До настоящего времени на ЖД транспорте, в частности на маневровых тепловозах, основным источником питания электрических цепей управления, системы пуска дизельных двигателей, а также резервным источником питания являются бортовые аккумуляторные батареи (АкБ). На отечественных тепловозах в основном используются два типа АкБ – свинцово-кислотные и щелочные.

При эксплуатации АкБ на маневровых тепловозах происходит снижение емкости батареи (до 30% от номинального). Это приводит к увеличению внутреннего сопротивления АкБ, снижению пускового тока стартера, что увеличивает время прокрутки вала дизеля, необходимого для надежного пуска дизеля. Уменьшение емкости АкБ значительно снижают надежность работы тепловоза. Возможны случаи, когда пуск может не произойти. Частые и глубокие разряды приводят к ускоренному выходу из строя штатной АкБ, особенно свинцово-кислотного типа [1].

В подобных ситуациях эксплуатационные предприятия становятся перед выбором: не выключать двигатель на остановках и терять топливо на холостых оборотах, либо увеличить установочную емкость батареи и мощность бортового генератора [2].

Данная проблема остро стоит для каждого типа подвижного состава, выполняющего различные функции: маневровые и магистральные тепловозы, путевые машины, железнодорожные краны, и др. тяжелая строительная техника.

Эффективного решения в системе пуска тягового двигателя тепловоза можно достичь за счет совместного использования АкБ с КДЭС (конденсатор двойного электрического слоя) [5]. Это обусловлено уникальными параметрами КДЭС по удельной мощности (возможность покрытия мощных кратковременных процессов).

Работа посвящена исследованию возможности совместного использования КДЭС и АкБ для пуска двигателя внутреннего сгорания маневрового тепловоза ТЭМ-2. Штатная система пуска дизеля включает в себя стартер-генератор, бортовую АкБ с номинальным напряжением 60 В, емкостью 450 А·ч, систему прокачки масла и коммутационную аппаратуру в виде пусковых контакторов [3, 4]. Система пуска была модернизирована: установлен модуль КДЭС фирмы Nesscap, (номинальная емкость 2000 Ф, напряжение модуля 86,4 В, максимальный ток разряда 1600 А), емкость штатной АкБ снижена до уровня 225 А·ч. Электрическая схема модернизированной системы пуска представлена на рисунке 1. Предложенная в работе схема обеспечивает двухэтапный пуск двигателя тепловоза (1 этап – питание от КДЭС; 2 этап – питание от АкБ).

КДЭС используют для получения максимальных вращающих моментов в начальный период прокручивания вала двигателя, так как они позволяют преодолеть механическое сопротивление на стартовое раскручивание коленчатого вала, что существенно снижает токовую нагрузку на штатную АкБ в первоначальный момент запуска дизеля.

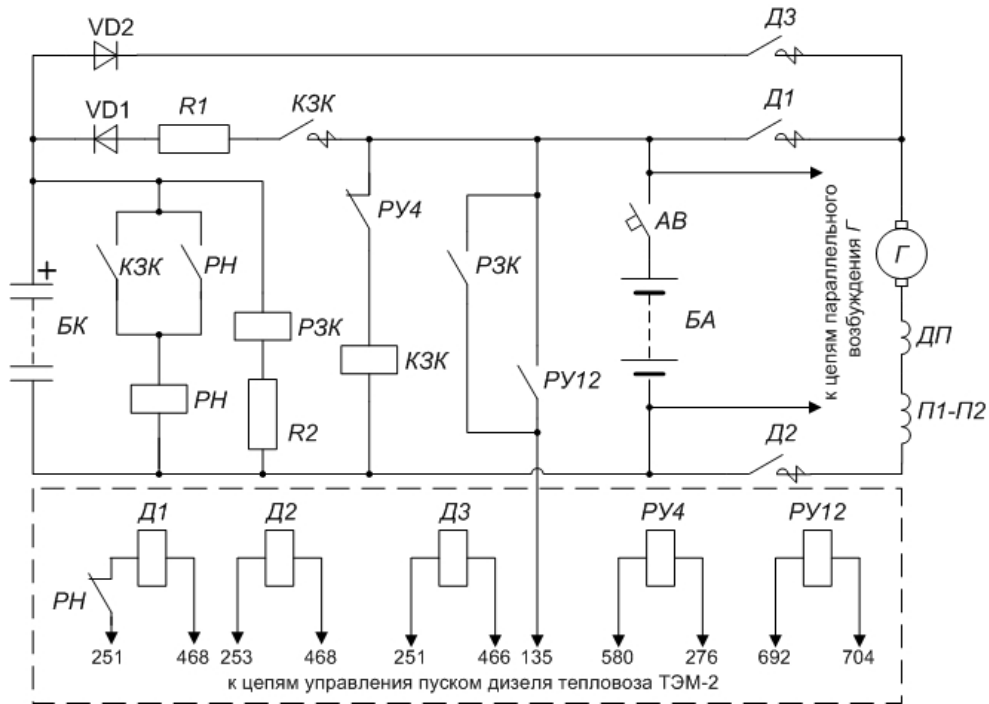


Рисунок 1 – Схема двухэтапного пуска стартерного электродвигателя тепловоза ТЭМ-2

Схема работает следующим образом. В начальный момент времени замыкается рубильник «АБ», автоматический выключатель «Управление общее» и переключатель «Пуск-Останов дизеля» (на схеме приведен только АВ) при этом от БА запитывается катушка контактора КЗК по цепи +БА–АВ–р.к. РУ4–катушка КЗК ––БА, который своими силовыми контактами замыкает цепь заряда БК, а доп. контактом шунтирует р.к. Д1 в цепи питания катушки РН. Заряд происходит по контуру +БА–АВ–контакты КЗК–R1–VD1–+БК ––БК ––БА. При этом запитывается катушка реле напряжения РН и при достижении напряжения БК его величины возвращается размыкается р.к. РН в цепи питания катушки Д1.

Параллельно с зарядом БК происходит подготовка к пуску дизельного двигателя продолжительностью 30-35 с (накачка масла масляным насосом до заданного давления и пр.).

При достижении напряжением БК величины срабатывания реле РЗК замыкается з.к. РЗК, шунтируя контакт РУ12 в цепи питания – на случай срыва пуска дизельного двигателя.

Вместе с тем, при достижении давлением масла величины уставки, схема управления подает питание в цепи катушек $D1, D2, D3$, силовые контакты $D2$ и $D3$ замыкаются (катушка $D1$ остается обесточенной так как разомкнут р.к. PH), обеспечивая подключение BK к Γ и контуру параллельного возбуждения Γ для его пуска по следующим контурам: $+BK-VD2-з.к. D3-+G--G-DП-П1-П2-з.к. D2--BK$; $+BK-VD2-з.к. D3$ – контакты $D1$ – к контуру параллельного возбуждения $\Gamma--BK$. При снижении напряжения BK до величины срабатывания минимального реле напряжения PH происходит возврат в исходное состояние р.к. PH в цепи питания катушки $D1$, что обеспечивает его срабатывание и замыкание силового контакта $D1$, который подключает BA параллельно BK для продолжения питания Γ по контуру: $+BK-AB-з.к. D1-+G--G-DП-П1-П2-з.к. D2--BA$; $+BA-AB$ – к контуру параллельного возбуждения $\Gamma--BA$.

Для защиты от ложного срабатывания реле PH в цепи питания его катушки размыкаются р.к. $D1$ (вследствие получения питания катушки $D1$) и з.к. $KЗК$ (вследствие снятия напряжения в схеме управления с катушки $PU4$ и размыкания ее з.к. в цепи питания катушки $KЗК$).

По завершении стадии пуска катушки коммутационных аппаратов обесточатся, обеспечив тем самым возвращение схемы в исходное состояние.

Временные зависимости токов двухэтапного режима пуска дизеля тепловоза (1 этап – питание от КДЭС; 2 этап – питание от АКБ) представлены на рисунке 2.

Полученные результаты свидетельствуют об уменьшении пикового значения тока АКБ с 1250 до 790 А. Полученные данные позволяют сделать вывод о том, что режим работы аккумуляторной батареи стал более щадящим, величины пусковых токов, установленные заводом изготовителем, снизились в 1,5-2 раза. Можно сделать вывод об эффективности работы и целесообразности применения предлагаемой системы двухэтапного режима пуска дизельного тепловоза ТЭМ-2.

Проведенное исследование системы двухэтапного режима пуска дизеля тепловоза ТЭМ-2 показало, что:

- КДЭС обеспечивает гарантированный пуск дизеля, включая эксплуатацию в холодное время года;
- КДЭС, работая совместно с АКБ, берет на себя часть нагрузки в первые секунды пуска двигателя;
- АКБ не испытывает большой токовой нагрузки при пуске, таким образом режим ее эксплуатации становится более щадящим;
- Состояние степени заряженности АКБ оказывает меньшее влияние на пусковые характеристики тепловоза;
- Появляется возможность использования АКБ, как с меньшей ёмкостью (в 1,5-2 раза), так и меньшими паспортными значениями максимальных пусковых токов.

Система двухэтапного пуска дизеля маневрового тепловоза ТЭМ-2 является простой в реализации и на сегодняшний день срок окупаемости модернизированной системы составляет менее 1 года. Следует отметить, комплект КДЭС представляет собой компактное устройство, которое не требует специального обслуживания в течение всего срока эксплуатации, что дает возможность размещать его в труднодоступных местах отсеков тепловоза.

Дальнейшие научные исследования системы двухэтапного режима пуска дизеля тепловоза с использованием импульсного преобразователя направлено на обеспечение максимального использования запасенной энергии в КДЭС.

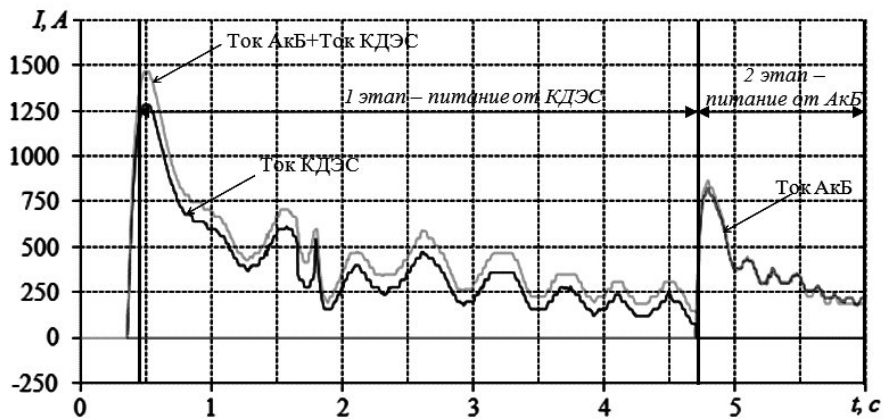


Рисунок 2 – Ампер-секундные характеристики двухэтапного режима пуска дизеля тепловоза: 1 этап – питание от КДЭС; 2 этап – питание от АКБ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кошкин, В.В. Надежность и эффективность электростартерного пуска двигателей внутреннего сгорания при использовании суперконденсатора: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Кошкин Валерий Валерьевич. -М., 2004. -22 с.
- 2 Рябко, К.А. Способ продления срока службы аккумуляторных батарей тепловозов путем снижения пусковых токов / К.А. Рябко // Сб. науч. тр. / ДониЖТ. -2011. -Вып. 25. -С. 121-125.
- 3 Тепловоз ТЭМ 2: рук. по эксплуатации и обслуживанию. -М.: Транспорт, 1983. -240 с.
- 4 Скалин, А.В. Электрические машины и аккумуляторные батареи тепловозов / А.В. Скалин, В.Ф. Бухтеев, В.Е. Кононов. - М.: Желдориздат: Трансинфо, 2005. -234 с.
- 5 Исследование процессов пуска дизеля K6S310DR с использованием энергоёмких конденсаторов / Н.В. Паламарчук, Ю.В. Черняк, Л.Т. Писарев, К.А. Рябко, В.Г. Фычак // Сб. науч. тр. / ДониЖТ. -2009.-Вып.9.-С. 112-124.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тепловоз, стартер*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Макаров Станислав Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГБВТ»
Ледовских Александр Владимирович, студент ФГБОУ ВПО «НГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГБВТ»*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРИЦИКЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.Л. Манаков, В.И. Кочергин, А.С. Алехин

USING PARAMETERS INTRACYCLIC CRANKSHAFT ROTATION TO ASSESS THE TECHNICAL CONDITION OF THE ENGINE COMBUSTION ENGINES

Siberian state transport university
A.L. Manakov, V.I. Kochergin, A.S. Alekhin

For efficient use of park construction vehicles must have their maximum performance for the duration of its life.

Keywords: diesel engine, diagnosis, repair, angular acceleration, maintenance, power

Для эффективного использования парка строительных машин требуется обеспечить их работу с максимальной производительностью в течение всего срока её службы.

Для эффективного использования парка транспортно-технологических машин требуется обеспечить работу каждой отдельно взятой машины с максимальной производительностью в течение всего срока её службы. Однако с увеличением срока эксплуатации в определенных участках наработки происходит увеличение потока отказов (рисунок 1) и повышение затрат на техническое обслуживание и ремонт. Одним из путей поддержания работоспособности машин на требуемом уровне вне зависимости от наработки является непрерывный мониторинг технического состояния с целью прогнозирования момента достижения конкретной машиной предельного уровня параметров её технического состояния и своевременного устранения последствий внезапных отказов.

Непрерывный мониторинг технического состояния может быть реализован с помощью средств и методов технической диагностики. Необходимость снизить издержки, неизбежно возникающие при непрерывном контроле технического состояния машин, а также наличие большого числа разнородных машинных парков, эксплуатирующихся на значительном удалении от дилерских центров или иных пунктов обслуживания, выводят на первый план потребность в развитии систем дистанционной диагностики. Современный уровень развития средств коммуникации позволяет решить данную задачу, тем самым обеспечивая возможность перехода от планово-предупредительной системы технического обслуживания машин к системе обслуживания по фактическому состоянию.

Непрерывность мониторинга, в том числе и при дистанционном диагностировании, не означает в буквальном смысле непрерывный контроль величины структурных или диагностических параметров. Контроль диагностических параметров может осуществляться дискретно через определенные промежутки времени либо при прохождении машиной определенных контрольных точек, если имеется внешнее диагностическое устройство, единое для группы машин с однотипными встроенными датчиками.

При выборе диагностических параметров предпочтительно использовать интегральные

показатели, содержащие информацию об отклонении выходных параметров машины.

Диагностическими параметрами, прямо или косвенно оценивающими выходные характеристики силовой установки, являются расход топлива, мощность силового агрегата, развиваемый крутящий момент, расход картерных газов, угловое ускорение коленчатого вала и др. На наш взгляд наиболее перспективным методом оценки состояния двигателя внутреннего сгорания (ДВС) является определение и анализ углового ускорения коленчатого вала.

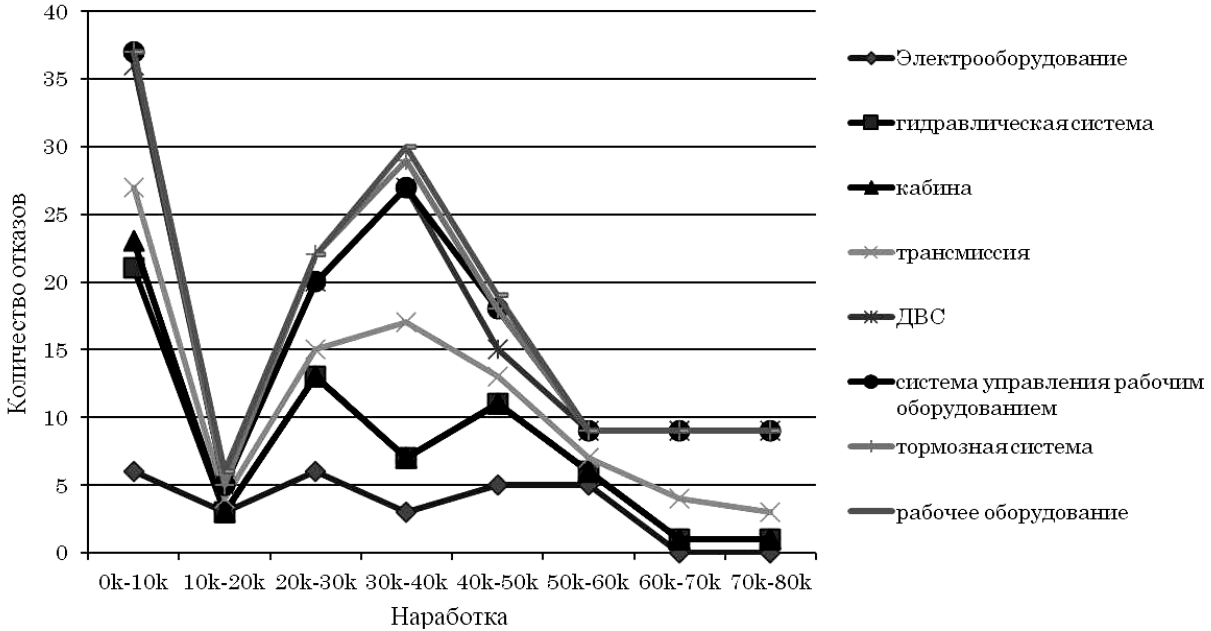


Рисунок 1 – Распределение отказов по системам и наработке машины CAT 834

Оценка мощности ДВС по параметрам углового ускорения коленчатого вала была реализована в известном методе динамической диагностики, широко применяемом в своё время для дизельных двигателей сельскохозяйственного назначения. Данный метод позволял оперативно проводить диагностику ДВС путем измерения максимального значения углового ускорения коленчатого вала в режиме свободного разгона и выбега. Но в настоящее время его широкое использование не представляется возможным по следующим причинам:

- тестовый режим свободного разгона требует специальных технологических перерывов в работе машины;
- стабильность и достоверность измерений в значительной мере зависят от действий оператора машины.

При оценке мощности динамическим методом для определения эталонных значений углового ускорения измерялась мощность двигателя на стационарном стенде, определялся момент инерции вращающихся частей силовой установки, и затем эти данные приводились в соответствие со значениями ускорения свободного разгона в момент достижения определённых значений угловой скорости. Современные двигатели имеют, как правило, множество модификаций, различающихся моментом инерции.

Уравнение динамики двигателя внутреннего сгорания при работе без внешней нагрузки предполагало совместное движение двигателя и рейки топливного насоса, перемещение которой контролировалось центробежным механическим регулятором частоты вращения [1]:

$$\frac{I_{\phi}(\varphi)d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2dl_{\phi}}d\varphi = M_i(\omega, \psi, \varphi) - M_c(\omega, \varphi); \quad (1)$$

где I_{ϕ} – приведенный к валу двигателя суммарный момент инерции;

φ – угол поворота коленчатого вала;

ω – частота вращения коленчатого вала;

ψ – положение рейки топливного насоса;

M_i, M_c – соответственно индикаторный момент и момент внутренних потерь двигателя [3].

В современном двигателестроении существует тенденция производства двигателей,

позволяющих при равных габаритных, массовых и инерционных параметрах реализовать, путем изменения настроек электронных систем управления, различные значения мощности и крутящего момента. Таким образом, математическая модель работы ДВС на неустановившихся режимах должна иметь следующий вид

$$\frac{I_{\theta}(\varphi)d\omega}{dt} + \frac{\omega^2}{2dI_{\theta}}d\varphi = M_i(\Omega, \varphi) - M_c(\omega, \varphi); \quad (2)$$

где $\Omega = f(x_1, x_2, \dots, x_i)$ – величина подачи топлива, устанавливаемая электронной системой управления двигателем на основании заложенного программного обеспечения и уровня сигналов x от 1-го, 2-го, ..., i -го датчиков системы.

Следовательно, ускорение свободного разгона двигателя в большей мере становится функцией, зависящей от программного обеспечения электронного блока управления двигателем, а не от фактического технического состояния ДВС.

Неустановившимся режимом работы двигателя внутреннего сгорания принято считать работу при переменном характере внешней нагрузки. В процессе свободного разгона момент инерции, зависящий от угловой скорости и угла поворота коленчатого вала, непрерывно изменяется. Но и при работе двигателя на стабильной частоте вращения, например, в режиме холостого хода, в зависимости от угла поворота коленчатого вала непрерывно изменяются силы давления газов на поршень, а также силы инерции масс конструктивных частей двигателя, совершающих возвратно-поступательное или вращательное движение. Индикаторный момент и суммарный момент внутренних потерь двигателя также постоянно меняют свои значения [2]. В связи с этим, известное уравнение движения коленчатого вала можно считать действительным при любом режиме работы двигателя, в том числе и в режиме холостого хода

$$M_i = M_c + I_{\theta} \frac{d\omega}{dt} = M_c + I_{\theta} \varepsilon; \quad (3)$$

где ε – угловое ускорение коленчатого вала.

При расчете и конструировании двигателей внутреннего сгорания, как правило, используется идеальная модель, позволяющих с известной степенью достоверности описать термодинамические процессы, происходящие в цилиндрах двигателя. Так, например, полезная работа газов при сгорании и расширении топливовоздушной смеси описывается политропическим процессом, выраженным через уравнение идеального газа следующим образом $pV^n = \text{Const}$. При этом оцениваются значения величин давления и температуры газов в конце такта расширения либо изменение объема при сгорании топлива с помощью теоретического коэффициента молекулярного изменения [2], но практически не исследуется скорость нарастания давления.

Динамика процесса сгорания топлива в зависимости от времени и угла поворота коленчатого вала определяет характер протекания линии сгорания индикаторной диаграммы и влияет на величину всех важнейших показателей рабочего цикла двигателя, в том числе, на характер зависимости угловой скорости и, соответственно, углового ускорения от времени или угла поворота коленчатого вала.

Исходя из вышесказанного, мы предлагаем использовать угловое ускорение коленчатого вала как величину, позволяющую определить техническое состояние ДВС. Для решения этой задачи была разработана система, позволяющая получать и выводить на экран информационно-измерительного комплекса графические зависимости углового ускорения от времени и угла поворота коленчатого вала при изменении угла поворота вала двигателя на 1 градус. Сравнение эталонной характеристики ДВС с полученными при проведении испытаний по изменению технического состояния позволит достоверно указать неисправный элемент. Информационно-измерительный диагностический комплекс (рисунок 2) состоит из датчика угловых перемещений, устанавливаемого на навесное оборудование ДВС (шкив генератора, насоса охлаждающей жидкости и т.д.) или на передний шкив коленчатого вала, пьезоэлектрического или оптического датчика верхней мертвой точки, коммутационного устройства, быстродействующего аналого-цифрового преобразователя, электронно-вычислительной машины (ЭВМ) с соответствующим программным обеспечением.

На рисунках 3 и 4 приведены зависимости угловой скорости и углового ускорения коленчатого вала при работе одноцилиндрового дизельного двигателя в режиме холостого хода в исправном состоянии и при искусственно созданной негерметичности камеры сгорания.

Данные зависимости обладают необходимой воспроизводимостью результатов измерений и иллюстрируют возможность оперативной интегральной оценки технического состояния двигателя внутреннего сгорания путем выделения информативных участков и их сравнения с аналогичными участками зависимостей, полученных при заведомо исправном (эталонном) техническом состоянии ДВС.

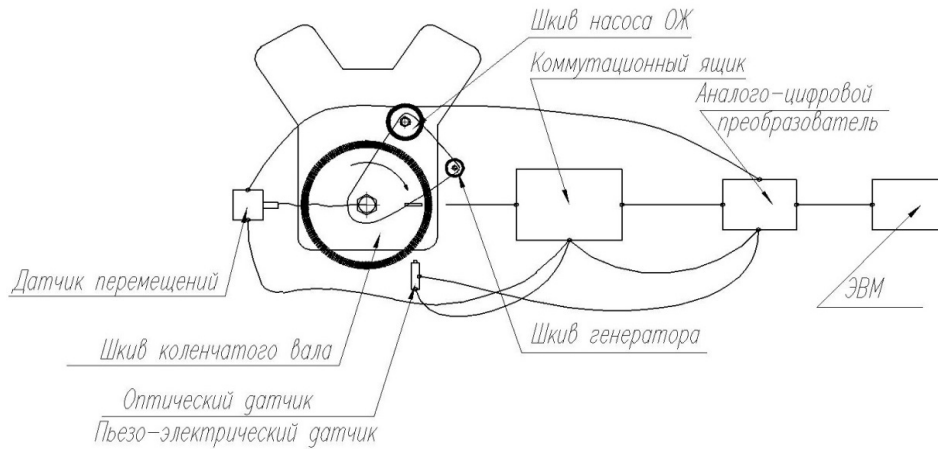


Рисунок 2 – Блок-схема информационно-измерительного диагностического комплекса

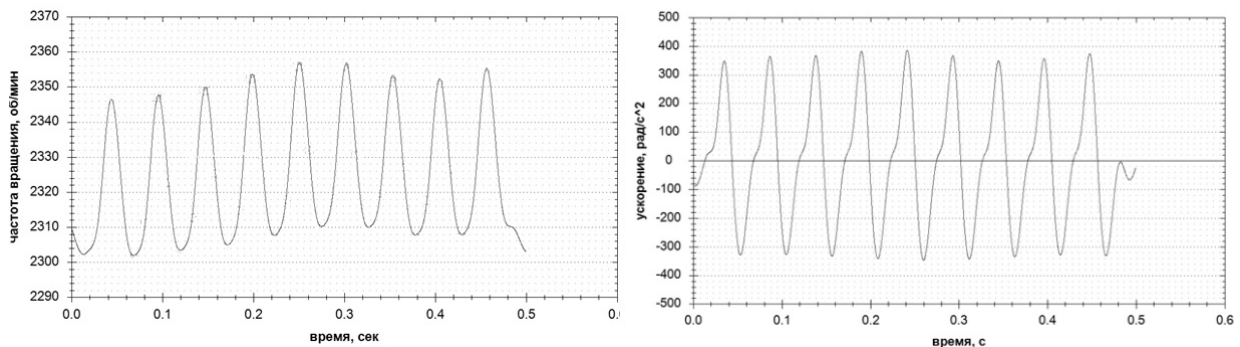


Рисунок 3 – Зависимости угловой скорости и углового ускорения от времени работы при работе исправного двигателя в режиме холостого хода

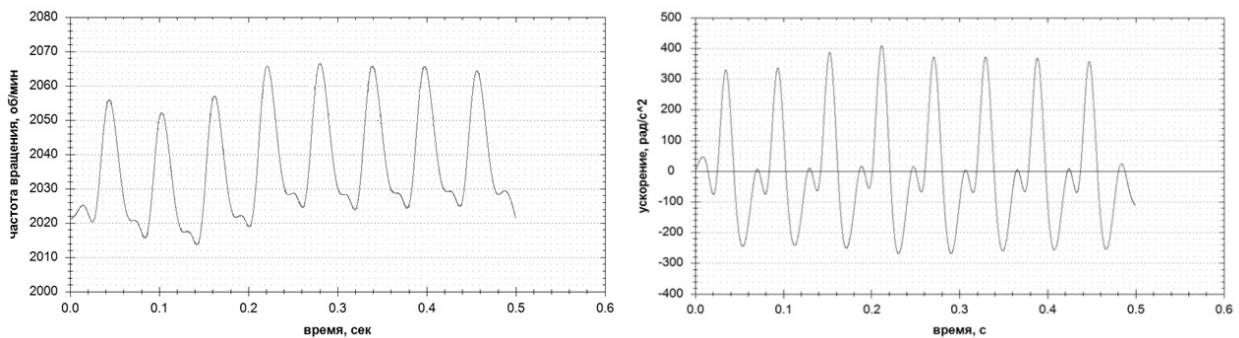


Рисунок 4 – Зависимости угловой скорости и углового ускорения от времени работы при работе двигателя с негерметичной камерой сгорания в режиме холостого хода

Таким образом, внутрицикловые значения угловой скорости и углового ускорения коленчатого вала, измеренные в режиме холостого хода, могут служить интегральными оценочными характеристиками технического состояния ДВС, поскольку позволяют косвенно оценить величину индикаторного крутящего момента и момента механических потерь. Очевидно, что на характер динамики процесса сгорания топлива и на внутрицикловые параметры вращения коленчатого вала оказывает заметное влияние и качество топлива. В данном случае своевременное реагирование на изменение диагностических параметров вследствие несоответствия качества и состава используемого топлива требуемым нормативам позво-

лит своевременно избежать возможных негативных последствий и снижения производительности машины. Следовательно, создание информационно-диагностических комплексов, основанных на измерении и оценке динамических параметров вращения коленчатого вала, является перспективным направлением развития непрерывного мониторинга технического состояния машинных парков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Динамический метод диагностики автотракторных двигателей. Ч.1. Принципы построения диагностических моделей переходных режимов: метод. рекомендации / разраб. И.П. Добролюбов, В.М. Лившиц. -Новосибирск: ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние, 1981. -88 с.
- 2 Автомобильные двигатели / В.М. Архангельский [и др.]. -М.: Машиностроение, 1977. -591 с.
- 3 Шароглазов, Б.А. Двигатели внутреннего сгорания: теория, моделирование и расчёт процессов: учебник / Б.А. Шароглазов, М.Ф. Фарафонов, В.В. Клементьев. -Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2004. -344 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *двигатель внутреннего сгорания, диагностика, ремонт, угловое ускорение, техническое состояние, мощность*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Манаков Алексей Леонидович, канд. техн. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Кочергин Виктор Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Алехин Алексей Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

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

О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТОВ В ПОДКРЕПЛЕНИИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Л.К. Арабьян, А.Ю. Кононенко

PROSPECTIVE APPLICATION OF COMPOSITES AND REINFORCING OF SHIP HULL CONSTRUCTIONS

Novosibirsk state academy of water transport

L.K. Arabyan, A.Yu. Kononenko

This article introduces a repairing method of ship hull constructions with the help of composite reinforcement, which is alternative to the changing of the exhausted constructions. The article describes comparative and qualitative features of composite repairing method. The applying of composite method based on the usage of short-grained concrete is mentioned here. According to the research we have found out the composite reinforcement enhancement.

Keywords: reinforcement of constructions, service characteristics enhancement, hull repair, shiprepairing, fibrous concrete

Рассмотрен метод ремонта судовых перекрытий корпуса композитными подкреплениями, альтернативный ремонту заменой изношенных элементов. Дана сравнительная, качественная характеристика композитного метода ремонта. Упомянут опыт применения композитного метода на основе мелкозернистого бетона. На основе проведенных исследований выявлены основные направления качества композитного подкрепления.

В «Программе научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ вузов министерства транспорта Российской Федерации» указана необходимость проведения прикладного исследования, включающая создание технологий комплексного внедрения перспективных конструкционных и композиционных материалов в базовые конструктивные элементы, обеспечивающих повышение энергомассовых характеристик и экономических показателей транспортной техники.

В настоящий момент, возраст большого количества судов, обеспечивающих перевозки на реках РФ, зачастую достигает величин близких к предельному сроку. Своевременное замещение новыми судами не может быть по ряду причин осуществлено в полном объеме. В этих условиях судоремонт часто является безальтернативным способом продления сроков эксплуатации. Одним из наиболее характерных способов капитального ремонта корпуса судна является замена элементов корпуса изношенных до состояния «негодное» на новые. Анализ существующих подобных работ показывает, что наиболее часто производится замена перекрытий днища, реже палубы (второго дна) в районе грузового трюма (палубы).

В качестве альтернативного варианта ремонта изношенных перекрытий корпуса можно рассматривать ремонт посредством подкреплений. При этом использование композиционных материалов является перспективным по ряду причин:

– снижение или даже полное исключение металлоёмкости конструкции, что может привести к снижению стоимости и массы конструкции подкрепления;

– вероятное снижение трудоёмкости;
– высокий прогресс в области конструктивных, клеевых и др. материалов в настоящее время позволит совершенствовать технологии композитного ремонта, повышать их экономические и технико-эксплуатационные качества.

В НГАВТ в 2001-2002 гг. по договору с Томской судоходной компанией проводились теоретико-экспериментальные работы по созданию технологии композитного ремонта корпуса баржи. В результате работы был отремонтирован (подкреплён) корпус лихтера в районе грузового трюма. Толщина подкрепляющего слоя по обшивке была назначена из условий технологичности 30 мм для обеспечения нормального расположения приварных армирующих элементов. Созданная технология была защищена патентами РФ на изобретения (№2231464 и №2228280). Данная конструкция основана на таком известном в судостроении материале, как «армоцемент». Наличие армоцементного слоя позволяет компенсировать утраченную в результате износа прочность днищевое перекрытия. Основным недостатком применённой технологии является достаточно большая трудоёмкость установки арматурной решётки и крепления к ней мелкоячеистой сетки. В дальнейшем данная технология была внедрена на пяти судах пр. 942, которые успешно эксплуатируются по настоящее время.

На рисунке 1 стальная 4 мм пластина подкреплённая 30 мм армоцементным слоем нагружена изгибающими напряжениями (2011 г.). Армоцемент находится в растянутой зоне (внизу). Деформация соответствует пределу текучести арматуры, макротрещин не наблюдается.

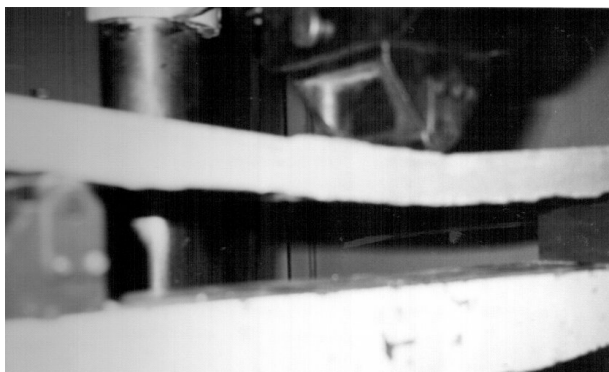


Рисунок 1 – Стальная 4 мм пластина подкреплённая 30 мм армоцементным слоем нагружена изгибающими напряжениями



Рисунок 2 – Создание днищевое подкрепления в корпусе лихтера

Создание днищевое подкрепления в корпусе лихтера (рисунок 2). Слева – установленная арматура с мелкоячеистой сеткой. Справа – подкрепление после заливки мелкозернистого бетона (2002 г).

Всё большее распространение в строительстве приобретает фибробетон, в котором роль арматуры выполняет стальная или полимерная фибра. Фибра имеет существенное достоинство перед традиционным бетоном – добавляется в готовый раствор, избавляя от необходимости изготовления и установки арматуры, также возрастает вибрационная прочность материала, по сравнению с традиционным бетоном. В 2011 г. была проведена серия статических прочностных испытаний подкреплений пластин металла, отличающихся толщиной пластин металла, подкрепления и композиционным материалом. Основной целью экспериментов являлось определение эффекта от применения различного вида фибры и определения принципиальной возможности применения такого вида подкрепления. Эксперименты выявили два «узких» места:

– Недостаточная адгезия композитного слоя с металлом, даже при наличии специального клея. Отказаться полностью от приварных элементов, в настоящее время, не представляется возможным;

– Наличие фибры увеличивает общую нагрузку при изгибе по сравнению с «чистым» бетоном, однако недостаточно. Необходимо дополнительно подкреплять поверхностный слой композитного подкрепления, как наиболее нагруженный растягивающими напряжениями.

Данные недостатки испытанных конструкций могут быть устранены посредством ряда

конструктивных мер. В числе возможных мер структурного усиления фибробетона рассматриваются:

- Предварительная приварка к пластине армирующей крупноячеистой решётки,
- Применение эпоксид-углеродных лент-пластин или углеродного холста для поверхностного усиления композитного слоя.

По мнению авторов композитное подкрепление является перспективной альтернативой существующих методов ремонта судового перекрытия.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: подкрепление перекрытия, продление эксплуатации, ремонт корпуса судна, судоремонт, фибробетон

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Арабьян Левон Каралетович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Конonenko Алексей Юрьевич, старший преподаватель ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТАКТНЫХ ПАР

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

С.А. Ступаков, В.М. Филиппов, А.В. Тарасенко

MATHEMATICAL MODEL OF MECHANICAL WEAR ITEMS OF CONTACT PAIRS

Omsk state transport university

S.A. Stupakov, V.M. Philippov, A.V. Tarasenko

In the article are considered the construction of a mathematical model of the mechanical wear of the elements of contact pairs pantographs electric vehicles.

Keywords: wear, items contact pairs, mathematical model, pressing in contact, the temperature gradient

Рассмотрено построение математической модели механического изнашивания элементов контактных пар токосъемных устройств электрического подвижного состава.

Контактная пара устройств токосъема как монорельсового, так и магистрального электрического транспорта представляет собой узел, функционирующий в условиях электромеханического износа. Реализация методики экспериментальных исследований изнашивания материалов контактных пар устройств токосъема требует наличия специализированных экспериментальных комплексов, а также значительных затрат времени и ресурсов. Для сокращения объема экспериментальных исследований может быть использован комбинированный способ – совокупность необходимого минимума экспериментальных исследований реальных объектов (или их аналогов) и методов расчета, основанных на математическом моделировании процессов, происходящих в контактных парах устройств токосъема.

Для решения задачи об оптимальных условиях механического изнашивания воспользуемся уравнением [1] Э.Д. Брауна, Ю.А. Евдокимова, А.В. Чичинадзе, в котором в комплексы и симплексы были объединены следующие факторы: P -нажатие в контакте; v -скорость скольжения; t -время испытаний; r -характерный линейный размер; H_1, H_2 -твердости материалов элементов контактной пары; λ_1, λ_2 -теплопроводности материалов; c_1, c_2 – удельные теплоемкости материалов. Введем в уравнение симплекс Cu , учитывающий процентное содержание меди в контактном элементе, за параметр оптимизации примем интенсивность изнашивания I_M .

Расчетное уравнение может быть представлено в виде

$$I_M(P) = a_0 \left(\frac{P t c_2}{r^2 \lambda_1} \right)^{\alpha_m} \left(\frac{v t}{r} \right)^{\beta_m} (Cu)^{\gamma_m} \left(\frac{H_1}{H_2} \right)^{\varepsilon_m}, \quad (1)$$

где a_0 – функционал, отражающий влияние на процесс неучтенных факторов;

α_m – функционал, логарифмически зависящий от нажатия в контакте;

$\beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m$ – коэффициенты, определяемые экспериментально.

Анализ результатов расчета с помощью уравнения (1) показывает, что расхождение их с экспериментальными данными составляет до 9%.

Для повышения точности результатов расчета введем в модель критерии, влияющие на

износ элементов контактной пары – силу трения в скользящем контакте, изменение влажности и запыленности окружающей среды, а также температуру элементов контактной пары

$$I_M(P) = a_0 \left[\frac{P t c_2}{r(T_{lh})^2 \lambda_1} \right]^{\alpha_m} \left[\text{Bi} \frac{v t}{r(T_{lh})} \right]^{\beta_m} (\text{Cu})^{\gamma_m} \left(\frac{H_1(T_{lh})}{H_2(T_{lh})} \right)^{\varepsilon_m} \left(\frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{lh}) \cdot f_m(T_{lh}) P_v} \right)^{\delta_m} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m} \quad (2)$$

где Me – критерий Мейера

$$Me \equiv \frac{T_1 \lambda_1}{r f_m P_v};$$

T_1 – температура контактного элемента;

P_v – мощность трения;

f_m – коэффициент трения;

φ_0/φ – отношение среднего значения относительной влажности окружающей среды за десять лет к значению относительной влажности на момент исследований;

κ_0/κ – отношение среднего значения запыленности окружающей среды за десять лет к значению ее запыленности на момент исследований;

T_{lh} – коэффициент влияния температурного градиента на интенсивность изнашивания

$$T_{lh} = a T_n^{\alpha_T} + b (\partial T_n / \partial z)^{\beta_T};$$

a, b – коэффициенты, характеризующие тепловые свойства материалов;

α_T, β_T – коэффициенты, характеризующие тепловые процессы при взаимодействии элементов контактной пары; определяются экспериментально);

T_n – температура исследуемого n -го элемента;

$\partial T_n / \partial z$ – градиент температуры элемента контактной пары по нормали z к его поверхности.

Представим теплопроводность материала контактного элемента (КЭ) в виде

$$\lambda_1 = \rho_1 c_1 \chi, \quad (3)$$

где ρ_1, χ – плотность и температуропроводность материала соответственно.

Тогда

$$I_M(P) = a_0 \left[\frac{P t c_2}{r(T_{lh})^2 \rho_1 c_1 \chi} \right]^{\alpha_m} \left[\text{Bi} \frac{v t}{r(T_{lh})} \right]^{\beta_m} (\text{Cu})^{\gamma_m} \left(\frac{H_1(T_{lh})}{H_2(T_{lh})} \right)^{\varepsilon_m} \left(\frac{T_1 \lambda_1}{r(T_{lh}) \cdot f_m(T_{lh}) P_v} \right)^{\delta_m} \left(\frac{\varphi_0}{\varphi} \right)^{\lambda_m} \left(\frac{\kappa_0}{\kappa} \right)^{\omega_m}, \quad (4)$$

где $H_i(T_{lh})$ – твердость материала элемента контактной пары в зависимости от его температуры [2]

$$H_i(T_{lh}) = H_{0i} \left\{ m_1 + \frac{m_2}{[m_3(T_{lh} - T'_m)]^2 + 1} \right\};$$

H_{0i} – твердость материала элемента контактной пары при нормальной температуре;

m_1, m_2, m_3 – константы материала;

T'_m – температура, при которой $H_i(T_{lh})$ принимает максимальное значение;

Bi – критерий Био, устанавливающий соответствие между интенсивностью теплообмена и распределением температуры в твердом теле

$$\text{Bi} = \frac{r \nabla T_1}{\Delta T_{1в}};$$

$r \nabla T_1$ – перепад температуры по объему КЭ;

$\Delta T_{1в}$ – температурный напор (разность температур материала КЭ и окружающей среды)

$$\Delta T_{1в} = T_1 - T_в.$$

После обработки экспериментальных данных изнашивания различных материалов с учетом особенностей исследования получены значения коэффициентов уравнения (4) для контактных пар монорельсового и магистрального электрического транспорта.

На рисунке 1 приведены номограммы для определения коэффициентов модели a_0 и α_m

и приняты следующие обозначения: 1-сталь; 2-бронза; 3-металлокерамика; 4-меднографитовый композит (ПМГ). Коэффициенты $\beta_m, \gamma_m, \varepsilon_m, \omega_m$ модели от давления не зависят [3], их значения почти постоянны и определяются физико-механическими свойствами материалов и условиями проведения эксперимента:

$$\beta_m \in [-0,8; -0,75]; \gamma_m \in [0,25; 0,35]; \varepsilon_m \in [0,75; 0,85]; \omega_m \in [-1; 1].$$

Значения коэффициента λ_m определяются диапазоном изменения относительной влажности:

$$5 \leq \phi \leq 15 \% \rightarrow \lambda_m \in [-1; -0,5); \quad 15 < \phi \leq 40 \% \rightarrow \lambda_m = [-0,5; 1);$$

$$40 < \phi \leq 98 \% \rightarrow \lambda_m \in [1; 2].$$

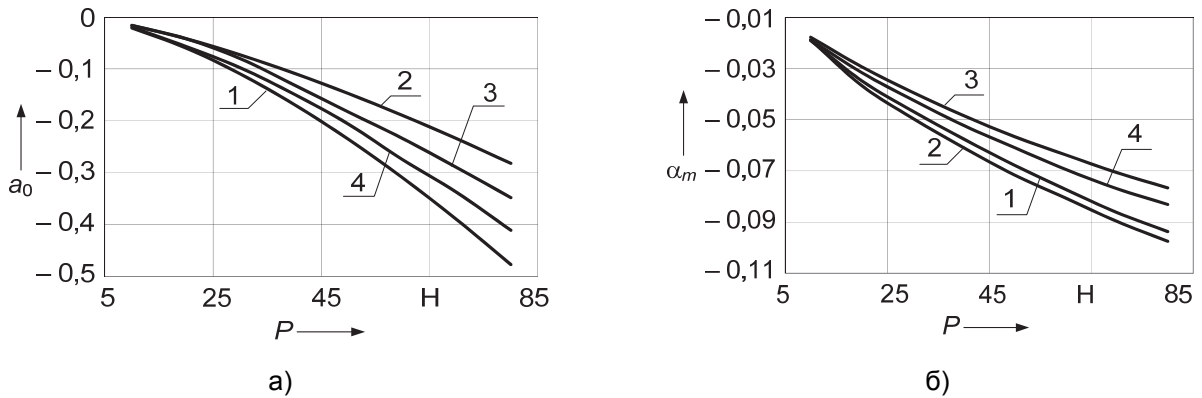


Рисунок 1 – Номограммы для определения функционала a_0 (а) и α_m (б) модели механического изнашивания

На рисунке 2 приведены графики интенсивности механического изнашивания контактных элементов, полученные экспериментально и в результате расчета на модели (4). Графики получены при нормальных условиях окружающей среды [4] (температура окружающей среды $+23^\circ\text{C}$, относительная влажность 50%, запыленность 3 мг/м^3). На рисунке 2 приняты обозначения: 1-результаты эксперимента (пунктирная линия); 2-результаты расчета по формуле (4). Расхождение расчетных и экспериментальных данных составляет 6-8%.

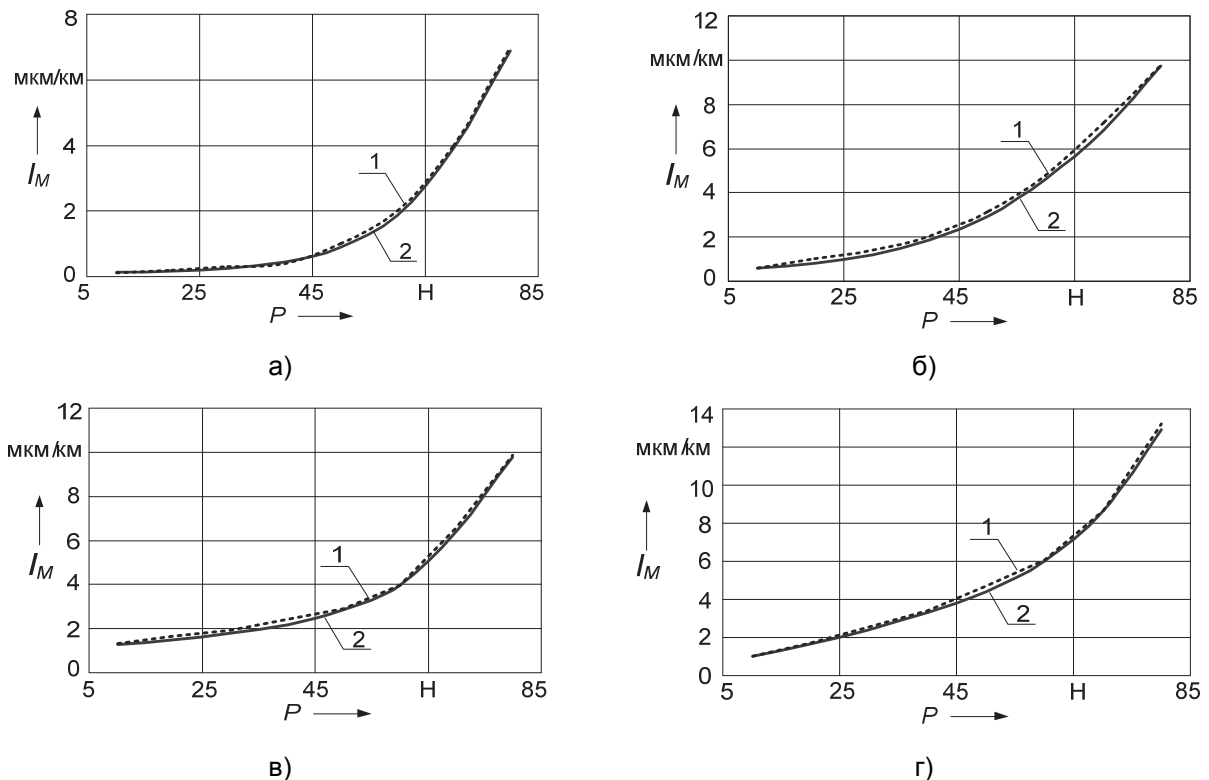


Рисунок 2 – Интенсивность изнашивания КЭ из различных материалов: а)-сталь; б)-бронза; в)-металлокерамика; г)-ПМГ

Анализ графиков на рисунке 2 позволяет сделать заключение о возможности использования формулы (4) для моделирования механической составляющей изнашивания КЭ. Однако заключение о трибосовместимости и задиростойкости материалов контактной пары можно сделать только на основании результатов экспериментальных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Браун, Э.Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах / Э.Д. Браун, Ю.А. Евдокимов, А.В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 1982. -191 с.
- 2 Чичинадзе, А.В. Трение, износ и смазка / А.В. Чичинадзе. -М.: Машиностроение, 2003. -576 с.
- 3 Ступаков, С.А. Моделирование электромеханического изнашивания контактных пар устройств токосъема электрического транспорта / С.А. Ступаков, О.А. Сидоров, В.М. Филиппов // Трение и смазка в машинах и механизмах. -М., 2012. -Вып.4. -С. 23-30.
- 4 ГОСТ 8.050-73. Нормальные условия выполнения линейных и угловых измерений. -М.: Стандартинформ, 1975. -16 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *изнашивание, элементы контактных пар, математическая модель, нажатие в контакте, температурный градиент*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Ступаков Сергей Анатольевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Филиппов Виктор Михайлович, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Тарасенко Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ТЕХНОЛОГИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Институт нефти и газа ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»
ООО «Сибирская торгово-промышленная компания»

Б.И. Ковальский, Е.Г. Кравцова, И.А. Шумовский, Н.Н. Малышева, В.Г. Шрам

TECHNOLOGY RESOURCE INCREASE LUBRICANTS

Institute of oil and gas of the Siberian federal university
Siberian commercial and industrial company
B.I. Kovalski, E.G. Kravsova, I.A. Shumovski, N.N. Malysheva, V.G. Shram

The results of studies effect a preliminary incubation of motor oils with different basic framework on the resource and wear.

Keywords: temperature control, oxidation, anti-wear criteria, activation

Приведены результаты исследования влияния предварительного термостатирования моторных масел различной базовой основы на ресурс и противоизносные свойства.

Температурный диапазон работоспособности смазочных материалов определяется термоокислительной стабильностью и температурной стойкостью. Для расширения температурного диапазона в смазочные материалы вводят поверхностно-активные и химически-активные присадки [1]. Кроме того, установлено [2], что для повышения нагрузки схватывания в маслах необходимо присутствие кислорода или кислородосодержащих соединений, обеспечивающих формирование на поверхностях трения защитных граничных слоев.

В работе [3] показано, что в начале эксплуатации моторных масел их противоизносные свойства понижаются, причиной тому является период их приспособляемости к условиям и режимам эксплуатации, однако это может быть связано с активацией присадок. Идея, которая рассматривается в данной работе, заключается в исследовании влияния активированных масел путем термостатирования на их ресурс и противоизносные свойства, поэтому целью работы является поиск новой технологии улучшения свойств моторных масел.

Для исследования выбраны: минеральное моторное масло Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC; частично синтетическое Mobil Super 2000 10W-40 SJ/SL/CF и синтетическое Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/CF. Методика предусматривала три этапа испытания. На первом этапе проба масла массой 100 г термостатировалась при температурах в диапазоне от 140 до 240 °С с увеличением температуры на 20 °С. При каждой температуре испытывалась новая порция масла. Испытания проводились в течение 8 ч при атмосферном давлении без перемешивания, что исключало окисление пробы масла.

На втором этапе пробы термостатированных масел подвергались окислению при температуре 180 °С с перемешиванием мешалкой с частотой вращения 300±5 об/мин в течении 8 ч. После каждых 8 ч испытания отбиралась проба масла для прямого фотометрирования и определения коэффициента поглощения светового потока. Испытания продолжались до достижения коэффициента поглощения светового потока значений приблизительно равных

0,7-0,8 ед. Результаты этих испытаний позволили определить влияние термостатирования масел на их ресурс при достижении коэффициента поглощения светового потока значения 0,7 ед.

Третий этап заключался в испытании термостатированных масел в диапазоне от 140 до 240 °С на их противоизносные свойства. Испытания проводились на трехшариковой машине трения со схемой «шар-цилиндр». Параметры терния составили: нагрузка 13 Н, скорость скольжения 0,68 м/с, температура масла в объеме 80 °С, время испытания 2 ч. Предложен критерий противоизносных свойств термостатированных масел, определяемый отношением коэффициента поглощения светового потока к диаметру пятна износа, характеризующий концентрацию продуктов деструкции K_{Π} на номинальной площади фрикционного контакта. Данный критерий позволяет сравнивать различные масла и чем больше значение, тем выше противоизносные свойства.

На рисунке 1 представлены зависимости потенциального ресурса и критерия противоизносных свойств от температуры термостатирования минерального моторного масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC показано, что в диапазоне температур до 160 °С ресурс термостатированных масел не изменяется по отношению к товарному (точка по ординате). В диапазоне от 160 до 220 °С ресурс увеличивается от 51 ч до 68 ч, то есть на 33%. Дальнейшее повышение температуры термостатирования не оказывает влияние на ресурс. Таким образом за счет температурной активации присадок в температурном диапазоне от 180 до 220 °С окислительные процессы замедляются.

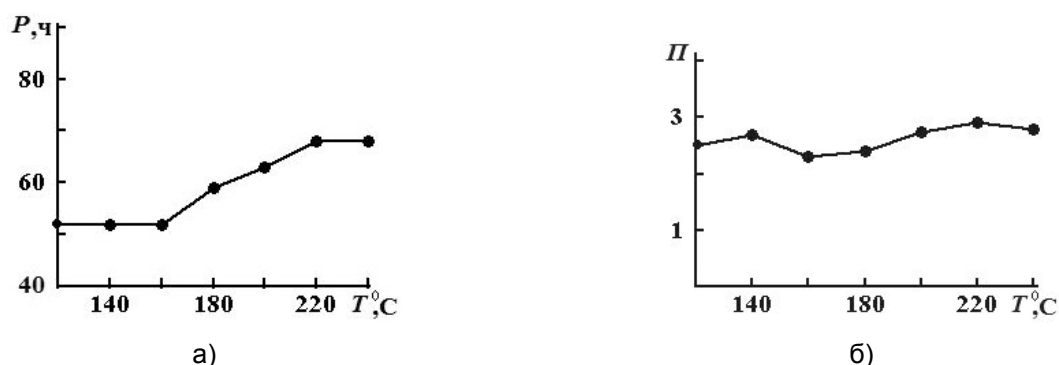


Рисунок 1 – Зависимость потенциального ресурса P (а) и критерия противоизносных свойств Π (б) от температуры термостатирования минерального масла Лукойл Стандарт 10W-40 SF/CC ($K_{\Pi} = 0,7$ ед.)

Критерий противоизносных свойств (рисунок 1б) при температуре 140 °С увеличивается по отношению к товарному маслу (точка на ординате, затем уменьшается до температуры 180 °С и повторно увеличивается в диапазоне температур от 180 до 220 °С. При этом увеличение критерия Π характеризует уменьшение параметра износа то есть повышение противоизносных свойств. В диапазоне температур до 180 °С вызвано свойствами первичных продуктов деструкции не способных формировать защитные граничные слои на поверхностях трения. В дальнейшем (температуры 180-220 °С) за счет активации присадок противоизносные свойства повышаются на 16% по отношению к товарному маслу.

Таким образом, для минерального масла существует температуры термостатирования, выше которых увеличивается ресурс, за счет снижения скорости окисления, и повышаются противоизносные свойства.

Для частично синтетического моторного масла Mobil Super 2000 10W-40 SJ/SL/CF (рисунок 2а) в диапазоне температур термостатирования до 180 °С ресурс практически не изменяется по отношению к товарному маслу (точка на ординате), однако дальнейшее повышение температуры вызывает его понижение и при температуре 300 °С он уменьшился в 3,3 раза. В температурном диапазоне термостатирования от 200 до 240 °С установлена стабилизация ресурса видимо за счет действия минеральной основы, которая в этом диапазоне повышает ресурс (см. рисунок 1а).

Критерий противоизносных свойств частично синтетического масла (рисунок 2б) в диапазоне температур до 180 равен товарному маслу (точка на ординате), а с увеличением температуры он увеличивается максимум на 15,8% при температурах 200 и 300 °С.

Для синтетического моторного масла Mobil Super 3000 5W-40 SJ/SL/CF (рисунок 3а) по-

тенциальный ресурс в диапазоне температур термостатирования до 180 °С увеличивается в 6 раз по сравнению с товарным маслом (точка на ординате), а дальнейшее повышение температуры вызывает его уменьшение.

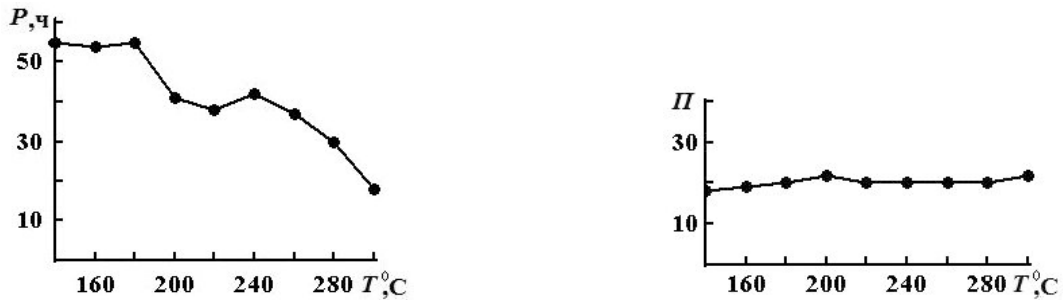


Рисунок 2 – Зависимость потенциального ресурса P (а) и критерия противоизносных свойств Π (б) от температуры термостатирования частично синтетического моторного масла Mobil Super 2000 10W-40 SJ/SL ($K_{\Pi} = 0,7$ ед.)

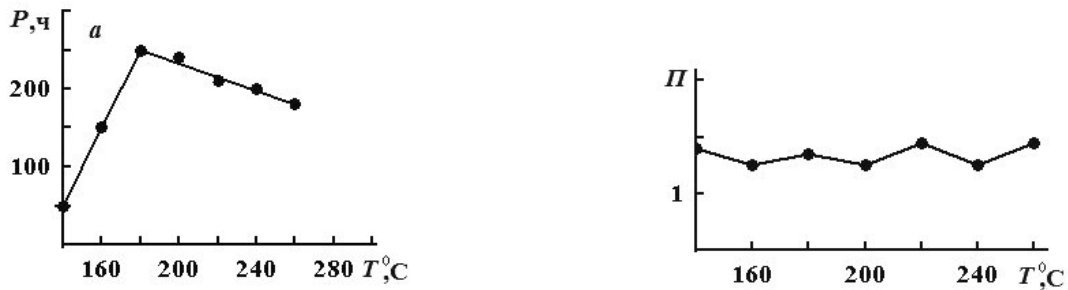


Рисунок 3 – Зависимость потенциального ресурса P (а) и критерия противоизносных свойств Π (б) от температуры термостатирования синтетического моторного масла Mobil Super 3000 10W-40 SJ/SL ($K_{\Pi} = 0,7$ ед.)

Критерий противоизносных свойств Π во всем температурном диапазоне термостатирования (рисунок 3б) колеблется в пределах от 1,5 до 1,9 ед.

Обобщения полученных результатов по потенциальному ресурсу и критерию противоизносных свойств для моторных масел различной базовой основы представлены на рисунке 4 в виде гистограмм при температурах 180 и 240 °С. Показано, что при температуре термостатирования 180 °С наибольший ресурс установлен для синтетического масла, но его противоизносные свойства уступают как минеральному, так и частично синтетическому маслам.

При температуре термостатирования 240 °С также наибольшим ресурсом характеризуется синтетическое масло, но и ресурс минерального масла превышает ресурс частично синтетического, а противоизносные свойства самые высокие у минерального масла, причем они выше, чем при температуре 180 °С. Для частично синтетического масла противоизносные свойства практически не зависят от температуры термостатирования, для синтетического они понижаются при температуре 240 °С по сравнению с температурой 180 °С.

На основе проведенных испытаний показано, что предлагаемая технология позволяет

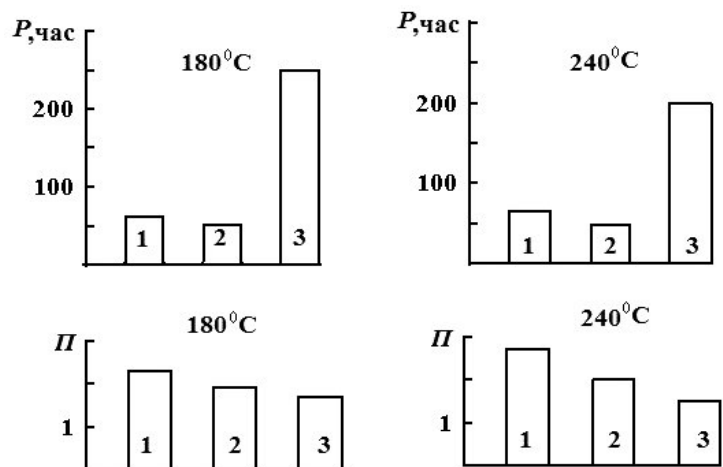


Рисунок 4 – Гистограммы изменения потенциального ресурса и критерия противоизносных свойств от базовой основы масел: 1-минеральное; 2-частично синтетическое; 3-синтетическое

установить оптимальные температуры термостатирования моторных масел различных базовых основ, увеличить потенциальный ресурс и повысить их противоизносные свойства. Данная технология направлена на повышение эффективности использования смазочных материалов и исключает период прирабатываемости в процессе эксплуатации двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Матвеевский, Р.М. Противоизносная стойкость смазочных сред при трении в режиме граничной смазки / Р.М. Матвеевский, И.А. Буяновский, О.В. Лазовская. -М.: Наука, 1978. -192 с.
- 2 Виноградов, Г.В. Опыт исследования противоизносных свойств углеродистых смазочных сред / Г.В. Виноградов // Методы оценки противоизносных и противоизносных свойств смазочных материалов. -М., 1969. -С. 3-11.
- 3 Ковальский, Б.И. Разработка комплексного метода оценки работоспособности дизельных масел: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.04 /Б.И. Ковальский. -М., 1985. -110 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: термостатирование, окисление, критерий противоизносных свойств, активация
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ковальский Болеслав Иванович, докт. техн. наук, профессор ИНИГ ФГАОУ ВПО «СФУ»
Кравцова Екатерина Геннадьевна, ассистент ИНИГ ФГАОУ ВПО «СФУ»
Шумовский Игорь Александрович, генеральный директор ООО «СТПК»
Малышева Наталья Николаевна, канд. техн. наук, доцент ИНИГ ФГАОУ ВПО «СФУ»
Шрам Вячеслав Геннадьевич, аспирант ИНИГ ФГАОУ ВПО «СФУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660041, г.Красноярск, пр.Свободный, 82, стр. 6, ИНИГ ФГАОУ ВПО «СФУ»
660049, г.Красноярск, ул.Сурикова, 12, оф.310, ООО «СТПК»

ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДА ХРОМА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Н.Н. Горлова, А.Е. Бакланов, Е.В. Титова, Л.С. Александрова

THE USE OF CHROMIUM OXIDE EMISSIONS SYSTEM OF DIESEL ENGINES FROM HARMFUL SUBSTANCES

Altai state technical university named I.I.Polzunova

N.N. Gorlova, A.E. Baklanov, E.V. Titova, L.S. Aleksandrova

The paper considers the possibility of chromium oxide in the catalytic materials used to clean the exhaust gases of diesel engines from harmful substances. Adding chromium oxide greatly affects the degree of purification of exhaust emissions and improving physical, chemical and mechanical properties of the resulting material. This paper studied the effect of the content of chromium oxide on the porosity, permeability, mechanical strength, impact strength and other properties of the resulting material.

Keywords: chromium oxide, catalyst materials, purification, cleaning exhaust gas catalyst

Рассмотрена возможность применения оксида хрома в каталитических материалах, используемых для очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ. Добавление оксида хрома в значительной степени сказывается на степени очистки вредных выбросов и улучшении физико-химических и механических свойств получаемого материала. В работе изучено влияние содержания оксида хрома на пористость, проницаемость, механическую прочность, ударную вязкость и другие свойства получаемого материала.

Привлекательность применения оксида хрома (Cr_2O_3) в составе шихты для получения пористых проницаемых каталитических материалов состоит в том, что он участвует в металлостановительных реакциях с окалиной стали в СВС – процессе [1].

Участие Cr_2O_3 в структурообразовании состоит в развитии диффузионных процессов в зависимости от соотношения диаметра пор d_p в составе шихты и длины свободного пробега молекул ξ . При $\xi < d_p$ явление следует рассматривать как молекулярную диффузию, а эффективный коэффициент диффузии $D_s = D$ соответствует коэффициенту молекулярной диффузии.

В литературе есть сведения об использовании оксида хрома в каталитических материалах рядом автомобильных концернов в виде составляющих сложных каталитических материалов для нейтрализаторов газов.

В Алтайском государственном техническом университете подтверждена возможность использования оксида хрома в составе шихты при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом [2].

Оценка эффективности каталитической очистки газов на полученных материалах с содержанием в шихте Cr_2O_3 от 16 до 19% по массе производилась на исследовательском комплексе, включающем в качестве генератора газов дизель КамАЗ-740 (8Ч 12/12). В целях со-

хранения идентичности состава отработавших газов испытания проводились при одинаковых условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам при частоте вращения коленчатого вала 2600 мин^{-1} и значениях среднего эффективного давления $0,35 \dots 0,55 \dots 0,78 \text{ МПа}$, температуре окружающей среды $T_0 = 298 \text{ К}$, давлении окружающей среды $p_0 = 0,105 \text{ МПа}$, влажности $W = 50\%$.

Выявленные в процессе исследований каталитические свойства объясняются наличием в составе пористого проницаемого материала сложных оксидов на основе соединений Cr, Ni, Cu, а также добавок металлов платиновой группы Rh и Ir, являющихся катализаторами в процессах окисления и восстановления продуктов неполного сгорания.

Характерным является снижение пористости СВС – материалов с увеличением доли Cr_2O_3 по отношению к Al. Так, изменение пористости при изменении соотношения $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}$ с 1,0 до 1,59 происходит в 1,58 раза, но при этом вырастают значения среднего приведенного диаметра пор d_n в 1,6 раз.

Извилистость пор возрастает с ростом содержания Cr_2O_3 в шихте. Показано, что при изменении соотношения $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}$ с 1,0 до 1,59 извилистость пор возрастает с 1,125 до 1,405 или в 1,25 раза.

Увеличение доли Cr_2O_3 по отношению к Al дает возможность комплексного воздействия на структуру СВС – материалов, а именно, одновременно увеличивать при необходимости диаметр пор d_n и их извилистость ξ_n , что важно при управлении свойствами материала на стадии формирования состава материала на стадии формирования состава шихты [3].

Получены зависимости диаметра пор d_n , пористость Π , извилистость пор от соотношения $\text{Cr}_2\text{O}_3/\text{Al}$ в шихте по массе:

$$d_n = 163 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 - 252,65 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 236,54, \text{ мкм}; \quad (1)$$

$$\Pi = -0,4519 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 + 0,9071 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 0,0212, \text{ \%}; \quad (2)$$

$$\xi_n = 0,7219 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right)^2 - 1,3967 \cdot \left(\frac{\text{Cr}_2\text{O}_3}{\text{Al}} \right) + 1,8112. \quad (3)$$

В процессе экспериментальных исследований впервые, исходя из обеспечения среднего диаметра пор d_n , была определена оптимальная концентрация по массе Cr_2O_3 , составляющая 16%.

Следует отметить, что при изменении содержания Cr_2O_3 в шихте до 19% диаметр пор d_n возрастает со 150 до 240 мкм или в 1,6 раза. Эта зависимость описывается выражением, дающим возможность оценивать предполагаемый диаметр пор при проектировании состава шихты для получения пористых проницаемых СВС – каталитических материалов

$$d_n = 32,649 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3}) - 375,95, \text{ мкм}. \quad (4)$$

Проектировать извилистость пор в СВС – материале является сложной задачей. Поскольку практически отсутствуют данные по извилистости пор в СВС – материалах, встала необходимость получения аналитических зависимостей извилистости пор ξ_n от содержания отдельных компонентов, в частности, Cr_2O_3 [4]. При увеличении Cr_2O_3 содержания с 16 до 19% происходит увеличение ξ_n с 1,12 до 1,41 или в 1,26 раза. Получена зависимость связывающая величины извилистости пор и содержание Cr_2O_3 в шихте

$$\xi_n = 0,0993 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3}) - 0,4785. \quad (5)$$

Таким образом, в результате экспериментальных исследований и обработки их материалов была установлена и математически описана зависимость извилистости пор от содержания оксида хрома в шихте по массе.

Известно, что пористость СВС – каталитических материалов во многом определяет их физические, физико-механические и функциональные свойства. Следует отметить, что при увеличении в шихте концентрации оксида хрома с 16 до 19% происходит снижение пористости материала в 1,57 раза.

Выявленная закономерность впервые описана уравнением

$$\Pi = -0,0162 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3})^2 + 0,5121 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3}) - 3,5747, \text{ \%}. \quad (6)$$

Развитие диаметра пор и их извилистости при увеличении содержания Cr_2O_3 в составе шихты приводит и к росту удельной поверхности материала. Необходимо отметить, что в создании удельной поверхности участвуют и микропоры в материале. Оксид хрома участвует в металловостановительных процессах с окалиной стали. Экспериментальное исследование показало, что зависимость удельной поверхности $F_{\text{уд}}$ пористых проницаемых СВС – каталитических материалов от содержания Cr_2O_3 в шихте имеет нелинейный характер [5, 6].

Из анализа данных следует, что при увеличении концентрации Cr_2O_3 в шихте с 16 до 19% по массе удельная поверхность материалов увеличивается со 106,5 до 118 м²/г или в 1,11 раза.

Удельная поверхность в конечном итоге во многом определяет обменные процессы вблизи катализатора, скорость превращения веществ и эффективность очистки газов от вредных веществ. Как правило наиболее эффективные каталитические материалы имеют и большие удельные поверхности [7].

В результате математической обработки экспериментальных материалов получено выражение, описывающее зависимость удельной поверхности от концентрации Cr_2O_3 в шихте для получения пористого СВС – каталитического материала

$$F_{\text{уд}} = -1,3333 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3})^2 + 50,366 \cdot C_{\text{Cr}_2\text{O}_3} - 357,61, \text{ м}^2/\text{г}. \quad (7)$$

Другим, не менее важным, показателем является проницаемость пористого материала. Исследования проведены в соответствии с ГОСТ 25283-82. Характер изменения проницаемости в зависимости от содержания Cr_2O_3 в шихте оказался нелинейным. Рост проницаемости с увеличением концентрации Cr_2O_3 связано с увеличением твердой фазы Сг в пористом проницаемом каркасе СВС – материалов.

В литературе не встречается данных о зависимости проницаемости СВС – каталитических материалов в зависимости от дозировки основных компонентов в шихту. В связи с этим в процессе исследований на образцах были получены экспериментальные данные, которые описаны следующими математическим выражением впервые

$$K_{\text{пр}} = \left[-0,0986 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3})^2 + 3,666 \cdot C_{\text{Cr}_2\text{O}_3} - 31,671 \right] 10^{-12}. \quad (8)$$

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации Cr_2O_3 в шихте на изменение механической прочности материалов, полученных высокотемпературным синтезом. Так Т.В. Новоселовой, Е.В. Титовой, А.Л. Новоселовым, Ю.В. Павловой было установлено, что с увеличением содержания Cr_2O_3 в шихте с 16 до 19% по массе, значение механической прочности при сжатии $\sigma_{\text{сж}}$ может снижаться с 10,9 МПа до 8,2 МПа или в 1,33 раза.

Механическая прочность при изгибе $\sigma_{\text{изг}}$ так же зависит от содержания в шихте оксида хрома. Так с увеличением содержания Cr_2O_3 в шихте с 16 до 19% по массе $\sigma_{\text{изг}}$ снижается с 4,0 МПа до 2,7 МПа, что свидетельствует об ухудшении механической прочности материала.

Обработка данных экспериментальных исследований свидетельствует о существовании линейных зависимостей между концентрацией в шихте оксида хрома и величинами пределов прочности на сжатие и изгиб

$$\sigma_{\text{сж}} = -0,2726 \cdot (C_{\text{Cr}_2\text{O}_3})^2 + 8,6392 \cdot C_{\text{Cr}_2\text{O}_3} - 57,679, \text{ МПа}; \quad (9)$$

$$\sigma_{\text{изг}} = 0,4302 \cdot C_{\text{Cr}_2\text{O}_3} + 10,847, \text{ МПа}. \quad (10)$$

При увеличении концентрации Cr_2O_3 в составе шихты с 16 до 20% по массе происходит значительное снижение ударной вязкости – с 0,29 до 0,254 Дж/м² или в 1,14 раза.

Таким образом, добиваясь роста диаметра пор, их извилистости, развития удельной поверхности материала, приходим к снижению его механической прочности. В частности, низкая ударная вязкость не позволяет использовать материал в условиях существования вибраций и ударов.

Реакция пористого проницаемого композитного материала на большую нагрузку проявляется в виде больших деформаций или разрушения. Явление разрушения означает потерю сцепления между частицами материала, характеристикой вязкости материала на большую нагрузку проявляется в виде больших деформаций или разрушения. Характеристикой вязкости материала является его ударная вязкость, измеряемая работой, затрачиваемой на разрушение образца, отнесенной к площади сечения. В литературе не обнаружено сведений об изменении ударной вязкости пористых СВС – материалов на основе оксида хрома [8].

В результате ранее проведенных исследований было обнаружено, что при увеличении

концентрации Cr_2O_3 в шихте снижается и ударная вязкость. Это объясняется тем, что в процессе горения СВС – системы снижается полнота превращения исходных компонентов.

Получено выражение, связывающее ударную вязкость с концентрацией Cr_2O_3 в составе шихты СВС – системы

$$v_{y\delta} = -0,009 \cdot C_{Cr_2O_3} + 0,4315, \text{ Дж/м}^2. \quad (11)$$

В результате проведенных исследований получены новые данные, характеризующие зависимость ударной вязкости пористых проницаемых каталитических материалов от содержания оксида хрома в шихте.

При создании нового пористого проницаемого каталитического материала с использованием в составе шихты оксида хрома большой интерес представляла его коррозионная стойкость. Это объясняется тем, что созданный материал предполагалось использовать в агрессивной среде со сложным составом. Испытания на коррозионную стойкость полученных СВС – каталитических материалов были проведены согласно ГОСТ 9.908-85 на образцах стандартных размеров путем погружения в смесь (1:3) азотной и соляной кислот. Время выдержки образцов в смеси кислот, кроме времени, предусмотренного стандартом, составляло от 0 до 24 ч при нормальных условиях ($p_0 = 0,1$ МПа; $T_0 = 298$ К; $W = 50\%$) [9, 10].

Экспериментально оказано, что увеличение содержания в шихте Cr_2O_3 (взамен алюминия) с 16 до 20% по массе приводит к повышению коррозионной стойкости материала, выражается в том, что

$$K_{cm} = 0,5856 \cdot (C_{Cr_2O_3})^2 - 22,471 + C_{Cr_2O_3} + 228,03, \%. \quad (12)$$

Экспериментально определены зависимости качества очистки газов от содержания в шихте оксида хрома, и найдена граница, в пределах которой в пористых СВС – материалах нет раковин и «свищей». Качество очистки газов от твердых частиц (ТЧ), при изменении содержания оксида хрома с 16 до 19%, увеличивается с 88 до 92%. Однако, ограничения по качеству каталитического материала позволяют при дозировке оксида хрома в 17,5% иметь качество очистки по твердым частицам 90%; по оксиду углерода – 85%; по углеводородам – 70%; по оксидам азота – 40% [11].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экспериментальные исследования получения пористых материалов в режиме СВ-синтеза для трегеров / В.Э. Борзых [и др.] // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. -2003. -№1. -С. 151-155.
- 2 Изучение некоторых свойств материала СВС-фильтров / В.В. Евстигнеев, В.Н. Краснов, Н.П. Тубалов, О.А. Лебедева, Г.Ю. Филиппов // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Евстигнеева, В.М. Белова. -Новосибирск, 2001. -С. 40-43.
- 3 Изучение некоторых свойств материала СВС-фильтров, изготовленных на основе окалина стали / В.Н. Красов [и др.] // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Евстигнеева, В.М. Белова. -Новосибирск, 2001. -С. 40-43.
- 4 Итин, В.И. Высокотемпературный синтез интерметаллических соединений / В.И. Итин, О.С. Найбороденко. -Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. -214 с.
- 5 Маецкий, А.В. Пористые проницаемые материалы в системе оксиды железа – оксиды кремния – алюминий / А.В. Маецкий, А.А. Гайнеман // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб.ст. / под ред. А.Л. Новоселова; Рос. акад. трансп., АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -Барнаул, 2007. -С. 88-94.
- 6 Мельберт, А.А. Эффективность СВС-каталитических блоков в нейтрализаторах для дизелей / А.А. Мельберт, А.А. Новоселов // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -1999. -№2. -С. 157-158.
- 7 Лукин, Е.С. Пористая проницаемая керамика из оксида алюминия / Е.С. Лукин, А.Л. Кутейникова, Н.А. Попова // Стекло и керамика. -2003. -№3. -С. 17-18.
- 8 Новые керамические материалы на основе оксида алюминия / Е.С. Лукин [и др.] // Огнеупоры и техн. керамика. -2001. -№7. -С. 2-9.
- 9 Новоселов, А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. -Новосибирск: Наука, 2002. -96 с.
- 10 Самораспределяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии / под ред. В.В. Евстигнеева. -Новосибирск: Наука, 2001. -284 с.
- 11 Пролубников, В.И. Результаты оценки различных фильтров твердых частиц отработавших газов дизелей / В.И. Пролубников, Д.В. Светашев, Р.А. Пугач // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2002. -С. 244-249.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: оксиды хрома, каталитические материалы, степень очистки, очистка отработавших газов, катализатор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горлова Нина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

Бакланов Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

Титова Елена Васильевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

Александрова Любовь Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Н.Н. Горлова, А.А. Мельберт, Д.С. Печеникова, Т.В. Новоселова,
Н.Е. Дорофеева

THE USE OF CHROMIUM IN THE EMISSIONS SYSTEM OF DIESEL ENGINES FROM HARMFUL SUBSTANCES

Altai state technical university named I.I. Polzunova

N.N. Gorlova, A.A. Melbert, D.S. Pechennikova, T.V. Novoselova, N.E. Dorofeeva

The paper considers the possibility of chromium emissions system from diesel emissions. Adding chromium has a positive effect on the degree of cleaning emissions and improving physical, chemical and mechanical properties of the resulting material. This paper studied the effect of chromium on the porosity, permeability, mechanical strength, impact strength and other properties of the resulting material.

Keywords: chromium, catalytic materials, purification, cleaning of exhaust gases, the catalyst

Рассмотрена возможность применения хрома в системах очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ. Добавление хрома положительным образом сказывается на степени очистки вредных выбросов и улучшении физико-химических и механических свойств получаемого материала. В работе изучено влияние содержания хрома на пористость, проницаемость, механическую прочность, ударную вязкость и другие свойства получаемого материала.

Хром (Cr) относится к эвтектоиднообразующим и α -стабилизирующим элементам по отношению к более легкоплавким металлам. Этими факторами определяются особенности структуры продуктов, полученных при СВ-синтезе.

Качество очистки отработавших газов дизелей от вредных веществ в зависимости от содержания в составе каталитических блоков нейтрализаторов хрома ограничено рассмотрено в работах целого ряда отечественных авторов и зарубежных ученых, в том числе, В.Э. Борзых, П.В. Исаенко, О.Ю. Мудрых, Д.Ю. Лужина, В.В. Евстигнеева, О.А. Лебедевой, Н.П. Тубалова, А.А. Мельберт.

Использование хрома в сочетании с оксидами хрома и железа в составе пористых проницаемых каталитических СВС-блоков нейтрализаторов на качество очистки отработавших газов дизелей практически не уделено внимания и вопрос остается не исследованным, а отсутствие информации делает неопределенным перспективы его использования для снижения вредных выбросов дизелей, тем более, что хром, являясь стратегическим металлом, хотя не является благородным [1, 4, 5].

Хром выступает катализатором в процессах окисления углеводородов и от его содержания в шихте во многом зависят каталитические свойства пористых проницаемых СВС-материалов. Хром вводится в шихту, с одной стороны, для стабилизации растекания расплава реактивов в процессе взаимодействия, с другой – для повышения коррозионной стойкости материала к парам серной и азотной кислот, присутствующих в отработавших газах и так же как катализатор, способствующий снижению энергии активации в окислительных и восстановительных процессах очистки газов в нейтрализаторах [2, 3].

Предварительно были проведены исследования относительно изучения степени влияния содержания хрома на физико-химические, механические и другие свойства получаемого каталитического материала.

Было выявлено, что средний приведенный диаметр пор d_n при увеличении количества хрома с 5 до 7,5% по массе в шихте сокращается с 196 до 178 мкм или в 1,1 раза. В то же время пористость возрастает с 0,35 до 0,52 или в 1,48 раза. Это положительное качество с точки зрения развития удельной поверхности материала.

Извилистость пор в полученном направлении фронту горения возрастает с 1,32 до 1,52 или в 1,15 раза. Экспериментально полученные зависимости были обработаны и получены выражения, описывающие влияние содержания хрома в системе на диаметр пор, пористость и извилистость пор в материале:

$$d_n = -2,2886(C_{Cr})^2 + 18,621(C_{Cr}) + 160,85, \text{ мкм}; \quad (1)$$

$$П = 0,0112(C_{Cr})^2 - 0,0514(C_{Cr}) + 0,3168, \text{ \%}; \quad (2)$$

$$\xi_{II} = 0,0364(C_{Cr})^2 - 0,3541(C_{Cr}) + 2,1927. \quad (3)$$

При изменении состава шихты полученные выражения могут иметь несколько другой вид, но общая тенденция изменения диаметра пор, пористости и извилистости пор в материале при изменении содержания хрома сохраняется.

Развитие пористости материала вместе с увеличением содержания хрома в шихте приводит к увеличению удельной поверхности. Так, экспериментально доказано, что при увеличении содержания хрома в шихте с 5 до 7,5% по массе удельная поверхность пористого проницаемого материала изменяется от 0,34 до 0,62, а так же происходит увеличение ударной вязкости с 0,252 до 0,287 Дж/м² или в 1,14 раза. Получено выражение, связывающее ударную вязкость с концентрацией Cr в шихте

$$\nu_{y\delta} = 0,0041(C_{Cr})^2 - 0,0385(C_{Cr}) + 0,3411, \text{ Дж/м}^2. \quad (4)$$

Хром повышает коррозионную стойкость материалов, о чем свидетельствует снижение потери массы пористых материалов при выдерживании в смеси серной и азотной кислот. При увеличении концентрации Cr с 5 до 8% по массе коррозионная стойкость материалов возрастает в 1,51 раза. Увеличение коррозионной стойкости свидетельствует о возможностях использования материалов для фильтрования и очистки агрессивных газовых смесей.

Получено выражение, связывающее потерю массы с содержанием Cr при испытаниях

$$K_{cm} = 0,738(C_{Cr})^2 - 11,613(C_{Cr}) + 58,042, \%. \quad (5)$$

Увеличение содержания в шихте Cr в значительной мере влияет на механическую прочность материала, полученного СВ-синтезом в сложной системе. Опытным путем было установлено, что увеличение содержания Cr в шихте с 4,6 до 7,8% по массе приводит к увеличению механической прочности при сжатии с 7,5...8,0 до 10,4...12,6 МПа или в 1,32 раза. При изменении содержания Cr в тех же пределах происходит увеличение механической прочности на изгиб с 2,5...2,7 до 3,5...5,0 МПа или в 1,65 раза.

Экспериментально доказано, что при увеличении в шихте концентрации хрома с 5 до 7,2% происходит рост пористости материала с 0,35 до 0,52 в 1,48 раза.

С пористостью материала, средним приведенным диаметром пор и их извилистостью связан очень важный для каталитического материала параметр – удельная поверхность [6].

Удельная поверхность в конечном итоге во многом определяет обменные процессы вблизи катализатора, скорость превращения веществ и эффективность очистки газов от вредных веществ. Как правило наиболее эффективные каталитические материалы имеют и большие удельные поверхности. Поэтому удельной поверхности материала уделяется особое внимание.

По результатам обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость, связывающая величину удельной поверхности материалов с содержанием в шихте основного компонента. Зависимость имеет вид

$$F_{y\delta} = 12,567(C_{Cr}) + 21,153, \text{ м}^2/\text{г}. \quad (6)$$

Таким образом, получены не только новые научные данные, но и определены математические зависимости влияния концентрации руд в составе шихты на удельную поверхность пористых проницаемых СВС-каталитических материалов.

Другим, не менее важным, показателем является проницаемость пористого материала. Исследования проведены в соответствии с ГОСТ Р 52305.1-2005.

Увеличение концентрации Cr в составе шихты повышает проницаемость СВС- каталитических материалов. Коэффициент проницаемости, который является одним из структурно-зависимых показателей пористых СВС-материалов. Проницаемость материала представляет собой сложную функцию оптимизации, включающую структуру порового пространства материала и параметры технологического процесса.

В исследуемом случае увеличение содержания Cr в шихте материалов с 5 до 7% по массе привело к повышению проницаемости с $1,82 \cdot 10^{-12}$ до $2,34 \cdot 10^{-12}$ м² или в 1,28 раза. Получено выражение, связывающие коэффициент проницаемости с содержанием хрома в шихте для изготовления СВС-каталитических материалов

$$K_{np} = 0,2567(C_{Cr}) + 0,531 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2. \quad (7)$$

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации хрома в шихте на изменение механической прочности материалов, полученных высокотемпературным синтезом. Так Т.В. Новоселовой, Е.В. Титовой, А.Л. Новоселовым, Ю.В. Павловой было установлено, что с

увеличением содержания хрома в шихте с 5 до 7,2% по массе, значение механической прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ может увеличиваться с 8,10 МПа до 10,86 МПа.

Механическая прочность при изгибе $\sigma_{изг}$ так же зависит от содержания в шихте основных компонентов. Так с увеличением содержания хрома в шихте с 5 до 7,2% по массе $\sigma_{изг}$ возрастает с 2,83 МПа до 3,95 МПа, что свидетельствует об улучшении механической прочности материала.

Обработка данных экспериментальных исследований свидетельствует о существовании линейных зависимостей между концентрацией в шихте хрома и величинами пределов прочности на сжатие и изгиб. Полученные зависимости описаны выражениями

$$\sigma_{сж} = 1,203(C_{Cr}) + 2,1684, \text{ МПа}; \quad (8)$$

$$\sigma_{изг} = 0,5572(C_{Cr}) - 0,0282, \text{ МПа}. \quad (9)$$

Полученные данные являются новыми, раскрывают закономерности влияния дозировки компонента шихты хрома на механическую прочность пористых проницаемых каталитических материалов, полученных высокотемпературным синтезом.

Ранее исследованиями сотрудников АлтГТУ им. И.И. Ползунова и ВКГТУ им. Д. Серикбаева экспериментально на образцах были изучены характеристики ударной вязкости пористых проницаемых СВС-материалов на основе окалина стали с добавлением хрома. Было обнаружено, что при увеличении концентрации хрома в шихте свыше 5,5% по массе резко возрастает ударная вязкость. Это объясняется тем, что в процессе горения СВС-системы снижается полнота превращения исходных компонентов, хром выступает в роли компонента твердого раствора.

Эти данные легли в основу получения математических зависимостей, связывающих влияние дозировки основных компонентов в шихту на ударную вязкость материалов, полученных в результате высокотемпературного синтеза

$$\nu_{y\delta} = 0,0041(C_{Cr})^2 - 0,0385(C_{Cr}) + 0,3411, \text{ Дж/м}^2. \quad (10)$$

В результате проведенных испытаний обнаружено, что при увеличении содержания хрома в шихте с 5,0 до 7,2% качество очистки газов от твердых частиц увеличивается с 89 до 95%, что нельзя считать значительным. Качество очистки газов от оксида углерода увеличивается с 70 до 87%, что является уже существенным. Качество очистки от углеводородов увеличивается всего на 6%, а качество очистки от оксидов азота увеличивается с 32 до 50%, что очень значимо.

В результате обработки экспериментальных материалов получены аналитические зависимости, связывающие эффективность очистки газов при температурах 703 К с содержанием хрома в шихте:

$$\delta_{Tч} = 2,8895(C_{Cr}) + 74,509; \%; \quad (11)$$

$$\delta_{CO} = -3,1079(C_{Cr})^2 + 45,518(C_{Cr}) - 89,52; \%; \quad (12)$$

$$\delta_{C_{xH_y}} = -1,8343(C_{Cr})^2 + 26,18(C_{Cr}) - 34,002; \%; \quad (13)$$

$$\delta_{NOx} = -2,4424(C_{Cr})^2 + 38,877(C_{Cr}) - 112,34, \%; \quad (14)$$

Все приведенные в тексте данные являются новыми, не описанными ранее, дающими представление об использовании хрома в составе шихты для получения СВС- каталитических материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Османов, М.О. Эффективность применения платинового, палладиевого и меднохромового катализаторов для обезвреживания отработавших газов двигателя / М.О. Османов, М.Ю. Султанов, М.С. Бельский // Автомобил. пром-сть. -1973. - №3. -С. 13-14.
- 2 Экспериментальные исследования получения пористых материалов в режиме СВ-синтеза для трегеров / В.Э. Борзых [и др.] // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. -2003. - №1. -С. 151-155.
- 3 Евстигнеев, В.В. Применение СВС-фильтров для создания пористых каталитических нейтрализаторов / В.В. Евстигнеев, О.А. Лебедева, Н.П. Тубалов // Совершенствование быстроходных дизелей: материалы междунар. науч.-техн. конф. / АлтГТУ. -Барнаул, 1999. -С. 136.
- 4 Мельберт, А.А. Эффективность СВС-каталитических блоков в нейтрализаторах для дизелей / А.А. Мельберт, А.А. Новоселов // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -1999. -№2. -С. 157-158.
- 5 Новоселов, А.Л. Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов / А.Л. Новоселов, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов. -Новосибирск: Наука, 2002. -96 с.
- 6 Эффективность фильтров для очистки отработавших газов дизелей / Н.П. Тубалов [и др.] // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. ст. / под ред. А.Л. Новоселова; Акад. трансп. РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. - Барнаул, 2002. -С. 99-103.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: хром, каталитические материалы, степень очистки, очистка отработавших газов, катализатор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горлова Нина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Мельберт Алла Александровна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Печенникова Дарья Сергеевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Новоселова Татьяна Васильевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Дорофеева Наталья Евгеньевна, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКАЛИНЫ СТАЛИ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

А.А. Новоселов, А.Л. Новоселов, А.Е. Бакланов, Н.Н. Горлова

THE USE OF COMPOSITE MATERIALS BASED ON THE SCALE OF STEEL IN THE EXHAUST GAS CLEANING SYSTEMS OF DIESEL ENGINES

Altai state technical university named I.I.Polzunova
A.A. Novoselov, A.L. Novoselov, A.E. Baklanov, N.N. Gorlova

The paper considers the possibility of scale alloy steel in porous permeable catalytic materials used for the production of catalytic converters converter exhaust of diesel engines. The physical and mechanical properties of the material being presented. The study revealed the dependence of mechanical strength to material toughness, and corrosion resistance of the steel slag concentration in the mixture.

Keywords: composites, emission control, cleaning efficiency, catalytic properties, charge

Рассмотрена возможность применения окалины легированной стали в пористых проницаемых каталитических материалах, используемых для производства каталитических блоков нейтрализаторов отработавших газов дизелей. Изучены физико-механические свойства предлагаемого материала. В процессе исследования выявлена зависимость механической прочности материала, ударной вязкости и коррозионной стойкости от концентрации окалины стали в шихте.

Привлекательность применения окалины легированной стали в пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что изделия из композитных материалов имеют возможность выдерживать циклические изменения высоких температур, работать в условиях высокой тепловой напряженности, механических нагрузок, воздействий вибраций и ударов, резких изменений условий окружающей среды, высокой агрессивности сред подлежащих очистке [1, 2].

В Алтайском государственном техническом университете им. И.И. Ползунова (АлтГТУ) теоретически разработана и практически подтверждена возможность использования окалины легированной стали в шихте при получении пористых проницаемых каталитических материалов высокотемпературным синтезом [3].

Использование окалины стали в качестве основного компонента позволило обеспечить функциональные свойства СВС-материалов. При этом, по результатам исследований В.В. Евстигнеева, Н.П. Тубалова, О.А. Лебедевой, Г.Ю. Филиппова, В.И. Яковлева, А.А. Гайнемана, А.В. Маецкого [4, 5] и исходя из условий существования устойчивого горения систем, была определена концентрация каждого из компонентов шихтовой смеси.

Оценка эффективности каталитической очистки газов на полученных материалах с содержанием в шихте F_2O_3 от 45,0 до 52,5% по массе [6] производилась на исследовательском комплексе, включающем в качестве генератора газов дизель КамАЗ-740 (8Ч12/12). В целях сохранения идентичности состава отработавших газов испытания проводились при одинаковых условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам при частотах вращения коленчатого вала 2600 мин⁻¹ и значениях среднего эффективного давления 0...0,35...0,55...0,78 МПа, температуре окружающей среды 298 К, давлении окружающей среды 0,105 МПа, влажности 50%. Выявленные в процессе исследований каталитические свойства объясняются только наличием в составе пористого проницаемого материала после синтеза сложных оксидов хрома, никеля, меди и металлов платиновой группы иридия и родия, соответственно 0,2 и 0,1% по массе шихты.

Требуемые физические и физико-механические свойства полученного материала обу-

словлены выбором технологического процесс, основными этапами которого явились следующие [7]:

- сушка компонентов шихты (3-х разовая вакуумом при 400-450 К);
- помол компонентов шихты в шаровой мельниц до размеров менее 63 мкм;
- добавление пластификатора до 1,5%;
- смешивание шихты (биконусный смеситель) – до 2 ч;
- уплотнение (вибростол) – 10 минут, 150 Гц;
- предварительный нагрев (шкаф СШН) до 573 К – 30 минут;
- нагрев изделия до 1100 К (муфельная печь);
- охлаждение в течение 24 ч.

Обращает на себя внимание, что увеличением дозировки в шихте окислы легированной стали с 45 до 52,5% по массе приводит к значительному изменению характеристик и свойств полученных СВС-материалов.

Обнаружено, что изменение среднего приведенного диаметра пор изменяется в зависимости от содержания Fe_2O_3/Al

$$d_{\pi} = 5,661 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right)^2 - 73,091 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right) + 345,41, \text{ мкм.} \quad (1)$$

В процессе экспериментальных исследований впервые, исходя из обеспечения среднего диаметра пор 150 мкм была определена оптимальная концентрация по массе шихты оксида железа, составившая 47,5%.

Извилистость пор в проницаемых СВС-каталитических материалах косвенно свидетельствуют о возможности организации течения отработавших газов в пористом материале на основе окислы стали контакта с катализаторами, а частности, со сложными оксидами Cr, Ni, Cu, а так же с Ir и Rd.

Поскольку в известной научной литературе не описаны зависимости извилистости пор в пористом материале в зависимости от содержания в шихте окислы стали, такая зависимость была описана уравнением

$$\xi_{и} = 0,0551 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right) + 0,9798. \quad (2)$$

В результате была установлена и математически описана зависимость извилистости пор от содержания соотношение концентраций Fe_2O_3/Al в шихте по массе.

Выявленные закономерности описаны уравнениями:

$$\pi = 0,0153 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right)^2 - 0,194 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right) + 0,903, \text{ \%}; \quad (3)$$

$$\pi = -0,0015 (C_{Fe_2O_3})^2 + 0,1236 (C_{Fe_2O_3}) - 2,016, \text{ \%}. \quad (4)$$

В то же время зависимость носит частный характер для данных составов СВС-материалов, в виду того, что на образование пор оказывают влияние теплофизические и физико-химические условия протекания горения составов шихты. Увеличение концентрации Fe_2O_3 свыше 47,5% сопровождается не только снижением пористости, а следовательно, и удельной поверхности. Данные об изменении пористости СВС-материалов при изменении концентрации окислы стали в составе шихты обнаружены и описаны впервые, являются новыми и представляют интерес при проектировании новых материалов с заданными свойствами.

Удельная поверхность, как один из важных показателей для каталитических материалов, во многом определяет обменные процессы вблизи катализатора, скорость превращения веществ и эффективность очистки газов от вредных веществ. Зависимости удельных поверхностей материалов от содержания в шихте различного количества компонентов получены в результате экспериментальных исследований.

По результатам обработки данных была получена математическая зависимость, связывающая величину удельной поверхности материалов с содержанием в шихте основного компонента

$$F_{уд} = 3,1634 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right)^2 - 39,949 \left(\frac{Fe_2O_3}{Al} \right) + 207,57, \text{ м}^2/\text{г}, \quad (5)$$

Таким образом, получены не только новые научные данные, но и определены матема-

тические зависимости влияния концентрации Fe_2O_3 составе шихты на удельную поверхность пористых проницаемых СВС-каталитических материалов.

Другим, не менее важным, показателем является проницаемость пористого материала. Исследования проведены в соответствии с ГОСТ 25283-82. Характер изменения проницаемости в зависимости от содержания Fe_2O_3 в шихте оказался нелинейным. Падение проницаемости с увеличением концентрации Fe_2O_3 связано с увеличением твердой фазы железа в пористом проницаемом каркасе СВС-материалов.

Обращает на себя внимание, что при использовании в составе шихты окалины сталей проницаемость СВС-каталитического материалов падает в области концентраций обеспечивающих наилучшие физические и физико-механические показатели. Это приводит к большим гидравлическим сопротивлениям пористых проницаемых элементов каталитических нейтрализаторов.

В процессе исследований на образцах были впервые получены экспериментальные данные о проницаемости полученного каталитического материала, которые описаны следующим математическим выражением

$$K_{пр} = -0,0294(C_{Fe_2O_3})^2 + 2,6699(C_{Fe_2O_3}) - 58,162, \times 10^{-12} \text{ м}^2. \quad (6)$$

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации окалины стали (18ХНВА) в шихте на изменение механической прочности материалов, полученных высокотемпературным синтезом.

Механическая прочность при изгибе $\sigma_{изг}$ от содержания в шихте основных компонентов. Так, с увеличением содержания Fe_2O_3 в шихте с 45 до 52,5% по массе $\sigma_{изг}$ снижается с 3,4 до 2,7 МПа, что свидетельствует об ухудшении механической прочности материала.

Полученные зависимости описаны выражениями:

$$\sigma_{сж}(Fe_2O_3) = -0,0033(C_{Fe_2O_3})^2 + 0,1881(C_{Fe_2O_3}) + 1,6324, \text{ МПа}; \quad (7)$$

$$\sigma_{изг}(Fe_2O_3) = 0,0368(C_{Fe_2O_3})^2 - 4,5469(C_{Fe_2O_3}) + 142,51, \text{ МПа}. \quad (8)$$

Экспериментально получены данные о величинах ударной вязкости СВС-каталитических материалов, что позволило выявить влияние содержания Fe_2O_3 в шихте на величины ударной вязкости. Обнаружено, что ударная вязкость материала при увеличении концентрации Fe_2O_3 свыше 50% по массе в шихте резко снижается.

Было обнаружено, что при увеличении концентрации Fe_2O_3 в шихте свыше 47,5% по массе резко снижается ударная вязкость. Это объясняется тем, что в процессе горения СВС-системы снижается полнота превращения исходных компонентов, железо меньше выступает в роли компонента твердого раствора, остаток твердых частиц в системе увеличивается. Эти данные легли в основу получения математических зависимостей, связывающих влияние дозировки основных компонентов в шихту на ударную вязкость материалов, полученных в результате высокотемпературного синтеза

$$\nu_{уд} = -0,002(C_{Fe_2O_3})^2 + 0,1871(C_{Fe_2O_3}) - 4,1026, \text{ Дж/м}^2. \quad (9)$$

При создании нового пористого проницаемого каталитического материала на основе окалины стали, большой интерес представляла его коррозионная стойкость. Это объясняется тем, что созданный материал предполагалось использовать в агрессивной среде со сложным составом.

Испытания на коррозионную стойкость полученных СВС-каталитических материалов были проведены согласно ГОСТ 9.908-85 на образцах стандартных размеров путем погружения в смесь (1:3) азотной и соляной кислот.

Учитывая, что в состав отработавших газов дизелей входит серный ангидрид, который с парами воды образует серную кислоту. Встала необходимость в проведении оценки разработанных материалов на коррозионную стойкость в серной кислоте.

В результате таких реакций в пространствах между зёрнами металла остаются соединения типа хлорида аммония и сульфата алюминия с низкими прочностными качествами. Такое изменение объясняется увеличением доли растворимых в кислотах металлов и материалов изделия. Наиболее подверженным кислотной коррозии оказался материал на основе окалины стали С-1.

Полученные результаты показывают, что с увеличением содержания в шихте оксида железа очистка газов от твердых частиц (ТЧ) ухудшается, но незначительно, по-видимому за

счет сокращения среднего диаметра пор с 155 до 130 мкм. Сделан вывод о том, что изменение содержания окалина легированной стали в каталитических блоках практически не влияет на изменение качества очистки газов в нейтрализаторе, а наблюдаемый эффект объясняется присутствием в каталитических блоках нейтрализатора хрома, никеля, иридия и родия.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Евстигнеев, В.В. Пористые проницаемые материалы в системе оксиды железа-оксиды кремния-алюминий / В.В. Евстигнеев, В.И. Пролубников, Н.П. Тубалов // Перспектив. материалы. -2006. -№2. -С. 48-49.
- 2 Получение пористых изделий методом термосинтеза из промышленных отходов для решения экологических проблем / В.В. Евстигнеев, О.А. Лебедева, Н.П. Тубалов, В.И. Яковлев // Проблемы и перспективы литейного пр-ва. -Барнаул, 1999. - Вып.1. -С. 190-191.
- 3 Изучение некоторых свойств материала СВС-фильтров / В.В. Евстигнеев, В.Н. Краснов, Н.П. Тубалов, О.А. Лебедева, Г.Ю. Филиппов // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Евстигнеева, В.М. Белова. -Новосибирск, 2001. -С. 40-43.
- 4 Евстигнеев, В.В. Повышение прочности пористых материалов, полученных СВС-методом в системе оксиды железа – оксид алюминия – алюминий – ферросилиций / В.В. Евстигнеев, Н.П. Тубалов, О.А. Лебедева // Перспектив. материалы. -2005. -№6. -С. 70.
- 5 Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова, Г.В. Сайгутин. -М.: Высш. шк., 1996. -274 с.
- 6 Евстигнеев, В.В. Технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза в производстве пористых изделий / В.В. Евстигнеев, С.Ю. Соломенцев // Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии: сб. науч. тр. / под ред. В.В. Евстигнеева, В.М. Белова. -Новосибирск, 2001. -С. 47-53.
- 7 Формирование структуры и эксплуатационные свойства пористых металлокерамических материалов на основе окалина легированных сталей / А.А. Гайнеман, О.А. Лебедева, А.В. Маецкий, Н.П. Тубалов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. ст. / под ред. А.Л. Новоселова; Рос. акад. трансп., АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -Барнаул, 2007. -С. 77-87.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: композиционные материалы, очистка отработавших газов, эффективность очистки, каталитические свойства, шихта

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
 Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
 Бакланов Александр Евгеньевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
 Горлова Нина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ РЕДУКТОРНОГО АГРЕГАТА ПО ОТКЛИКУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.С. Ткаленко

ASSESSMENT OF TECHNICAL CONDITION DIESEL GEARED UNIT BY THE RESPONSE OF THE DYNAMIC CHARACTERISTICS
 Novosibirsk state academy of water transport
 N.S. Tkalenko

The article describes the reasons for dynamic disturbances in diesel geared unit and outlined a strategy for determining the technical state of the response mechanisms of dynamic characteristics.

Keywords: diesel geared unit, dynamic characteristics, torsional oscillation, wavelet transform

Рассмотрены причины динамических возмущений в дизель-редукторном агрегате и намечены стратегии для определения технического состояния механизмов по отклику динамических характеристик.

Современное судно оборудовано разнообразными машинами и механизмами, которые по совокупности и во взаимосвязи с устройствами и аппаратами образуют судовую энергетическую установку, которая производит выработку, преобразование, передачу и использование различных видов энергии для безопасного и эффективного функционирования судна в соответствии с его типом и назначением, обеспечивая нормальные условия жизнедеятельности экипажа и пассажиров [1].

В связи со специализацией судов для перевозки контейнеров, пакетных грузов, колесной техники, лихтеров получили развитие дизель-редукторные установки, позволяющие на

40-50% сократить размеры машинного отделения по высоте. Установку komponуют несколькими дизелями (от одного до четырех), наиболее распространенный вариант - установка с двумя дизелями. Мощность передается на гребной винт через редукторы с гидравлическими, электромагнитными или фрикционными муфтами [2].

Схемы вращающихся масс дизель-редукторных агрегатов многих современных судов представляют собой сложные разветвленные системы. В состав агрегата кроме дизеля, валопровода и гребного винта входят еще и редуктор, упругие муфты, навешенные на редуктор генераторы и другие потребители энергии. По этой причине такие системы имеют не одну-две (как в простых установках), а много больше форм свободных колебаний. Собственные частоты этих колебаний могут совпадать с частотами более или менее существенных гармоник возмущающих моментов. Реальную опасность для установки имеют не более трех форм колебаний, одна из которых, моторная форма, действующая в пределах масс дизеля, как правило, вызывает наибольшие напряжения в его коленчатом валу. Наибольшую опасность для валопровода, упругих муфт и редуктора дизель-редукторного агрегата представляют низкочастотные формы колебаний (одно- или двух узловые). Результаты торсиографирования подтверждают, что наибольшие напряжения при этом возникают от возмущающих моментов, порядок которых равен или кратен числу вспышек за оборот вала. Из-за наличия высокоэластичных упругих муфт в системе образуются формы свободных колебаний с очень низкой собственной частотой равной 2-9 Гц, и резонансные колебания половинного-полупорядка попадают в район номинальных частот вращения. Системы вращающихся масс дизель-редукторных агрегатов с упругими муфтами из резины и отбором мощности от редуктора обладают очень слабыми демпфирующими свойствами, так как присоединенное к редуктору или двигателю навешенное оборудование (генераторы, гидронасосы) обладает сравнительно большими моментами инерции масс (с учетом редуцирования), что не позволяет развить достаточный демпфирующий момент. А не одинаковая загруженность цилиндров двигателя (например, из-за плохой регулировки топливной аппаратуры), приводит к возникновению резонансов [3].

Судовой дизель – редукторный агрегат является мощным источником динамических возмущений. Практика его эксплуатации приводит к необходимости исследования сложных динамических процессов в связи с крутильными колебаниями валов. В рабочих условиях эффективным является без разборный контроль технического состояния дизель-редукторного агрегата. Применение системы виброакустического контроля устраняет демонтаж и разборку агрегата. Эффективность методов виброакустической диагностики обуславливается органической связью используемой измерительной информации с динамическими процессами возбуждения и распространения колебаний в дизель-редукторном агрегате и в автоматизации процессов съема и обработки информации.

Каждый вид дефекта изменяет динамические характеристики исследуемых механизмов, которые могут быть определены с помощью соответствующих методов: математического моделирования или инструментальным снятием этих динамических характеристик дизель-редукторного агрегата с использованием различных стратегий.

Первая стратегия заключается в моделировании всей механической системы с помощью метода конечных элементов для того, чтобы имитировать несколько неисправностей и сравнить полученные результаты с экспериментальными данными [4, 5].

Вторая стратегия заключается в принятии методов обработки сигналов с целью получения карт, которые могут быть использованы для определения наличия дефектов [6, 7]. В этом случае требуется решение алгоритма для визуального или автоматического процесса определения. Этот метод используется наиболее часто и хорошо подходит для решения с участием экспертов.

Третья стратегия предполагает применение частотно-временных методов распределения, которые хорошо подходят для анализа нестационарных сигналов и широко применяются для контроля технического состояния двигателей [8, 9].

Для определения неудовлетворительных условий работы механизма обычно используют оконное преобразование Фурье, распределение Вигнера-Вилле и непрерывное вейвлет-преобразование. Для достоверного обнаружения быстроразвивающихся локальных дефектов может быть применено дискретное вейвлет-преобразование.

Вейвлет анализ является альтернативой Фурье анализу. Wavelet дословно переводится как «короткая (маленькая) волна». Вейвлеты – функции с нулевым интегральным значением локализованные по всей оси независимой переменной, способные к сдвигу по этой оси и

масштабированию (растяжению/сжатию) [10]. Вейвлет – анализ обладает высокой разрешающей способностью во времени при сохранении достаточного частотного разрешения и не зависит от изменений амплитудных характеристик сигналов, что позволяет контролировать локальные дефекты на стадии их зарождения. Вейвлет – преобразование одномерного сигнала - это его представление в виде обобщенного ряда или интеграла Фурье по системе базисных функций, сконструированных из материнского вейвлета $\psi(t)$

$$\psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1)$$

где a – параметр временного масштаба;

b – параметр сдвига по оси времени;

$1/\sqrt{a}$ – множитель, который обеспечивает независимость нормы этих функций от масштабирующего числа a .

Непрерывное (интегральное) вейвлет преобразование сигнала $S(t)$ (рисунок 1) описывается выражением

$$W_s(a,b) = [S(t), \psi_{a,b}(t)] = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt, \quad (2)$$

где $W_s(a,b)$ – вейвлет спектр сигнала, является функцией двух аргументов: первый аргумент a (временной масштаб) аналогичен периоду осцилляций, а второй b аналогичен смещению сигнала по оси времени.

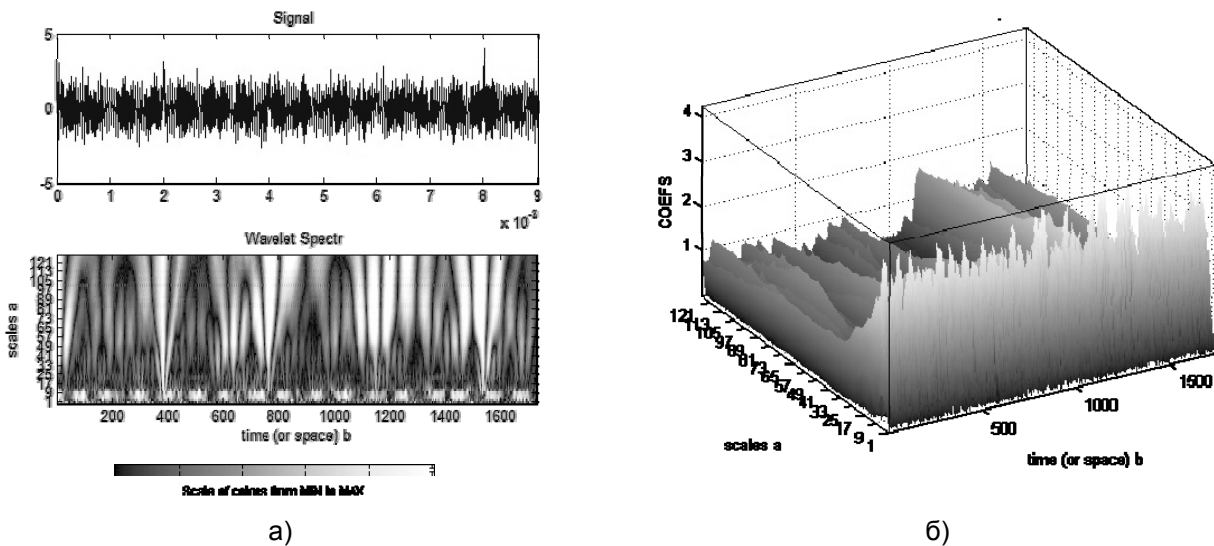


Рисунок 1 – Вейвлет-преобразование $W_s(a,b)$ вибрационного сигнала $S(t)$: а)-вейвлет спектрограмма сигнала; б)-поверхность сигнала

При непрерывном изменении параметров a и b для расчета вейвлет-спектра необходимы большие вычислительные затраты. Поэтому необходима дискретизация этих параметров при сохранении возможности восстановления сигнала из его преобразования. Дискретное вейвлет преобразование позволяет не только удалить некоторые статистические флуктуации и повысить роль динамических характеристик сигнала, но и существенно сократить компьютерную память и требования к передаче информации и, следовательно, снизить расходы [11].

Отличительной особенностью методов локализации повреждений на основе вейвлет – анализа является то, что необходимы только данные о спектре динамического ответа системы без предварительной подготовки и низкая чувствительность к шумам в обрабатываемом сигнале. На практике применение этих методов может сократить время испытаний, трудоемкость и повысить объективность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Судовые энергетические установки / Г.А. Артемов, В.П. Волошин, Ю.В. Захаров, А.Я. Шквар. -Л.: Судостроение, 1987. - 480 с.
 2 Камкин, С.В. Эксплуатация судовых дизельных энергетических установок / С.В. Камкин, И.В. Возницкий, В.Ф. Большаков. -М.: Транспорт, 1996. -432 с.

- 3 Анцевич, А.В. Дизель-редукторные агрегаты рыбопромысловых судов / А.В. Анцевич, П.К. Егоров, А.В. Зуев. - Мурманск: Кн.изд-во, 1983. -160 с.
- 4 Bartelmus, W. Mathematical modelling and computer simulations as an aid to gearbox diagnostics / W. Bartelmus // Mech. Systems and Signal Proc. -2001. -Vol.15. -P. 855-871.
- 5 Jid, S. Comparison of localized spalling and crack damage from dynamic modeling of spur gears vibrations / S. Jid, I. Howard // Mech. Systems and Signal Proc. -2006. -Vol.20. -P. 332-349.
- 6 Wu, J.D. Fault diagnosis of internal combustion engines using visual dot patterns of acoustic and vibration signals / J.D. Wu, C.Q. Chuang // NDT&E International. -2005. -Vol.38. -P. 605-614.
- 7 Shibata, K. Fault diagnosis of rotating machinery through visualisation of sound signal / K. Shibata, A. Takahashi, T. Shirai // Mech. Systems and Signal Proc. -2000. -Vol.14. -P. 229-241. Da Wu, J. Continuous wavelet transform technique for fault signal diagnosis of internal combustion engines / J. Da Wu, J. Chen Chen // NDT&E International. -2006. -Vol.39. -P. 304-311.
- 8 Tse, P. Machine fault diagnosis through an effective exact wavelet analysis / P. Tse, W. Yang, H.Y. Tam // Mech. Systems and Signal Proc. -2004. -Vol.18. -P. 1005-1024.
- 9 Daubechies, I. Ten Lectures on wavelets / I. Daubechies // Philadelphia: SIAM Society for Industrial and Applied Mathematics. - 1992.
- 10 Яковлев, А.Н. Введение в вейвлет-преобразования: учеб. пособие / А.Н. Яковлев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та, 2003. -104 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизель-редукторный агрегат, динамические характеристики, крутильные колебания, вейвлет-преобразование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ткаленко Наталья Сергеевна, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИЙСЯ ФИЛЬТР НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Н.К. Пак

THE NEW CONSTRUCTION OF SELF REGENERATING FILTER FOR CLEANING THE FUELS AND MOTOR OILS ON SHIPS
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
G.P. Kicha, A.V. Nadezhkin, N.K. Pak

The main principals of arrangement's the self-regenerating filters (SRF) for cleaning the fuel and oil materials are given. Show the new construction for improving the cloth filtering materials, the filtering elements, the regenerating arrangement and the scheme of placing the cleaner in oil system. Given equaling of the efficiency SRF with other types of filters for the cleaning of motor oil in the during of diesel engine test of type 8ДН35/62.

Keywords: self-regenerating filter, cleaning of the fuel and oil materials, filtering process, regeneration of filtering elements

Показаны принципы, на основе которых создавался саморегенерирующийся фильтр (СРФ) для очистки горюче-смазочных материалов. Сообщается о новизне конструкции, которая достигалась совершенствованием тканых фильтровальных материалов, фильтрующих элементов, регенерирующего устройства и схемы включения очистителя в систему смазки ДВС. Проведено сравнение эффективности СРФ с другими фильтрами при очистке моторного масла в дизеле 8ДН35/62

Полная автоматизация судовых энергетических установок (СЭУ) без применения в системах топливо- и маслоочистки фильтров с длительным сроком необслуживаемой работы не возможна. Моделирование рабочих процессов саморегенерирующегося фильтра (СРФ) дало возможность осуществить аппаратное оформление очистителей систем смазки (СС) и топливоподготовки судовых дизелей. При этом реализованы все резервы повышения эффективности процессов фильтрования и регенерации этих очистителей.

Комплексное совершенствование работы автоматизированных маслоочистительных комплексов (АМОК) с применением СРФ осуществляли на основе системного подхода с учетом разработок [1-4]. Очистку топлив и смазочных материалов и регенерацию фильтрующих элементов (ФЭ) интенсифицировали за счет повышения результативности процессов фильтрования и противоточной промывки, конструирования ФЭ, регенерирующего устройства и в целом фильтра на новых принципах (рисунке 1).

Разработанные тканые фильтрующие материалы послужили основой для значительно повышения эффективности процесса фильтрования противоточной регенерации СРФ [2]. При исследовании выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на самоочистку (регенерацию ФЭ), разработаны способы управления ею. В основу конструирования СРФ положена стохастическая теория фильтрования и регенерации, что позволяет проектировать очиститель заданной результативности для любых условий его функционирования [1].

В настоящее время наиболее перспективной конструкцией ФЭ является элемент высоко-

кой жесткости в форме свечи с коэффициентом живого сечения более 0,8, причем переменного по высоте. Техническое решение защищено авторским свидетельством 1084045 [3]. ФЭ эффективно регенерируется при высокой адгезии отложений. Поровая структура их оптимизирована, что обеспечивает наилучшее сочетание фильтровальных и регенерирующих свойств.

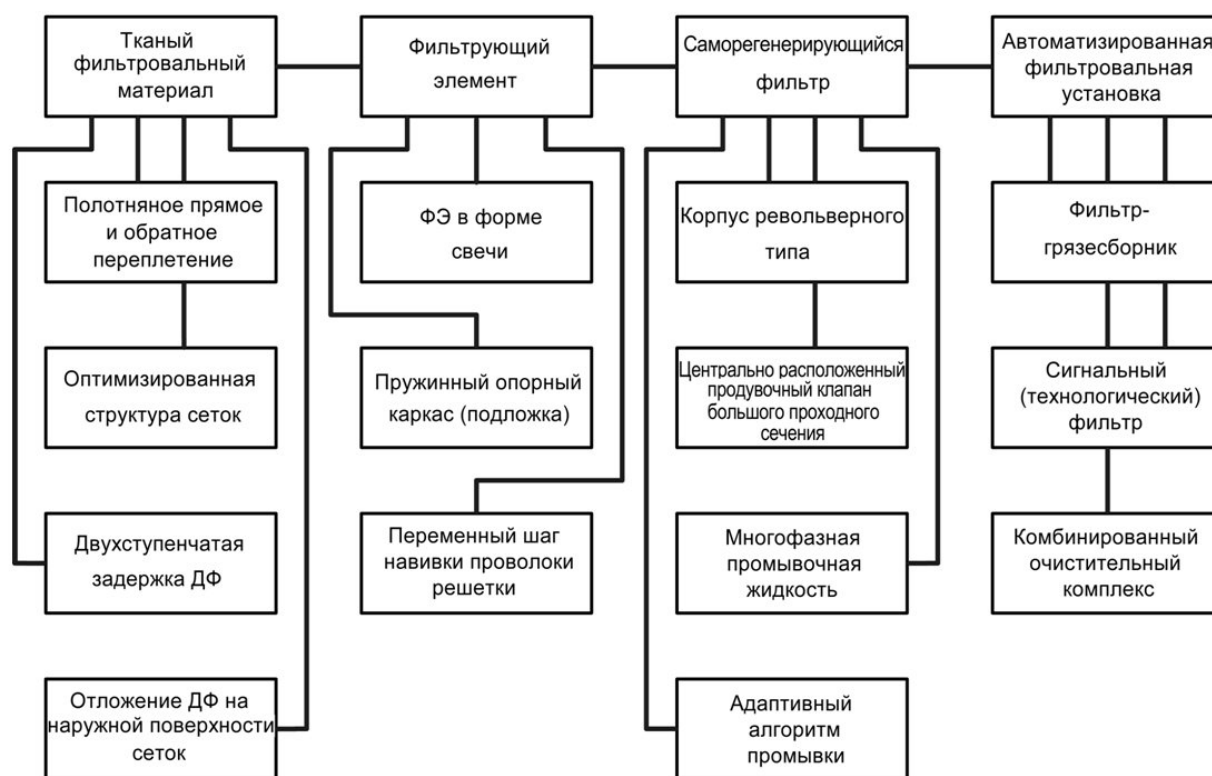


Рисунок 1 – Новые инженерные решения по СРФ

Применение для интенсификации процесса регенерации химических методов нецелесообразно вследствие возможного попадания моющих средств в моторное масло (ММ). Для СС ДВС наиболее приемлема интенсификация очистки ФЭ за счет увеличения скорости промывного потока и адаптивного алгоритма регенерации (рисунок 1). Хороший эффект дал «пробковый» режим промывки, реализованный в конструкции СРФ по авторскому свидетельству 1212485 [4].

Особенностью разработанного процесса регенерации является ступенчатое противоточное воздействие движущейся с большой скоростью промывной жидкости (масла или топлива), их эмульсии и воздуха. Адаптивность процесса регенерации достигается самонастраиваемостью СРФ за счет автоматизированного управления на требуемый режим промывки по его продолжительности и числу циклов в зависимости от адгезионных свойств и дисперсной характеристики загрязнителя.

Целью исследований, проведенных в Морском государственном университете им. адм. Г.И. Невельского, была разработка СРФ, у которых восстановление функциональных свойств осуществляется промывкой ФЭ обратным потоком жидкости, движущейся с большой скоростью под действием давления воздуха. При этом исследовалась возможность комбинированного воздействия на отложения для полного восстановления очистительных и гидравлических характеристик ФЭ. Была поставлена задача достичь периодичности ручной или химической чистки СРФ с их разборкой через 3000–6000 ч работы.

В результате проведенных исследований предложена для использования на судах базовая конструкция очистителя СРФД-120 модификации Д с четырьмя фильтровальными камерами. Их число может меняться от двух до шести. Фильтр предназначен для тяжелых условий работы при очистке низкосортных топлив, когда адгезия отложений к ФЭ высока. СРФД-120 также может надежно функционировать в СС форсированных судовых дизелей как поопоточный очиститель. Особенно эффективно он очищает ММ с низкими моюще-диспергирующими свойствами или когда масло интенсивно загрязняется нерастворимыми продуктами (НРП) [1].

Очиститель СРФД-120 (рисунок 2) револьверного типа выпускается с 2-6 фильтровальными камерами 3, размещаемыми карусельно по окружности на корпусе фильтра 2, оборудованного фланцем выхода отфильтрованной жидкости Б. Корпус опирается на основание 1, которое снабжено входным фланцем 12 для фильтруемой жидкости и фланцем 14 для сброса отложений.

По оси корпуса 2 располагается распределительный золотник 6 и распределитель потоков 5, камера продувочного воздуха 7 и электропривод 8 с редуктором. Корпус фильтра 2 снабжен выпускным патрубком 13, от которого проведена трубка подачи отфильтрованного масла через невозвратный клапан 10 в камеру 7, где осуществляется приготовление масло (топливо)-воздушной эмульсии для промывки ФЭ.

В фильтровальной камере 3 в зависимости от назначения, тонкости отсева и пропускной способности фильтра располагается 10-20 ФЭ в форме свечи. Камера снабжена поплавковым клапаном для удаления из нее воздуха. К патрубку сброса грязи присоединяется электроуправляемый клапан 9.

Режим фильтрации всех камер обеспечивается таким положением, на рисунке 2 оно не показано, распределителя потоков 5, когда его патрубки не совмещаются с полостями А и Б корпуса 2, которые ведут к фильтровальным камерам. В этом положении распределителя загрязненная фильтруемая жидкость через патрубок 12 и нижнюю открытую входную полость А корпуса 2 поступает в фильтровальные камеры 3 и очищается, проходя через фильтровальную сетку снаружи вовнутрь ФЭ.

Очищенное масло попадает в верхнюю полость Б корпуса 2 и через патрубок 13 удаляется из фильтра.

Когда перепад давления на фильтре (между патрубками 12 и 13) достигает допустимого уровня 0,08-0,10 МПа, автоматически разворачивается золотник 6 и перемещает распределителя потоков 5 в положение, показанное на рисунке 2, то есть фильтровальная камера 3 подключается для осуществления регенерации ФЭ. К этому моменту в камере 7 находится воздух под давлением 0,3-0,5 МПа. Как только откроется грязевой клапан 9, рабочее масло под давлением воздуха из полости Б устремляется в фильтровальную камеру 3, проходит через ФЭ изнутри наружу, смывая с него отложения. Промывной поток с отложениями устремляется к патрубку 14 и через открытый клапан 9 сбрасывается в фильтр – грязесборник.

Для подачи воздуха в камеру 7 для приготовления эмульсии и в последующем для ее

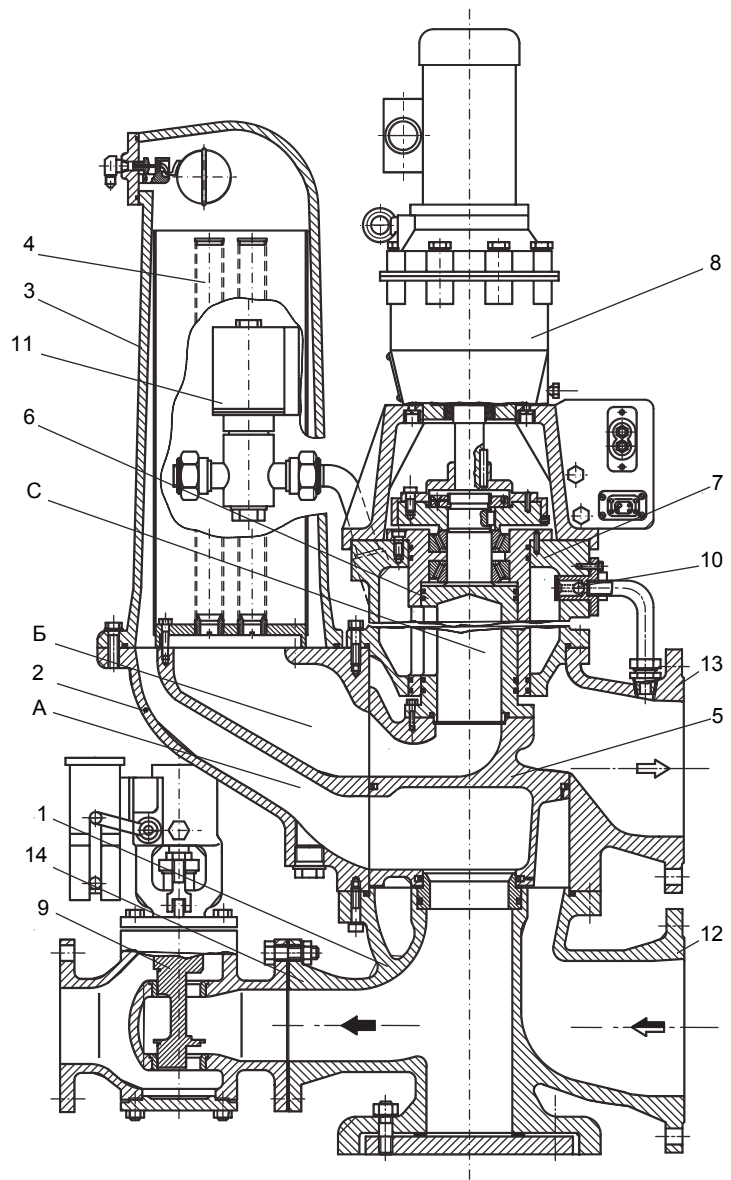


Рисунок 2 – Саморегенерирующийся фильтр СРФД-120: 1-основание; 2-корпус фильтра; 3-фильтровальная камера; 4-ФЭ; 5-распределитель потоков; 6-распределительный золотник; 7-камера продувочного воздуха; 8-электропривод; 9-быстрозапорный управляемый клапан; 10-невозвратный клапан; 11-клапан продувочного воздуха; 12-впускной патрубок; 13-выпускной патрубок; 14-патрубок сброса грязи; А-входная полость корпуса; Б-выходная полость корпуса; С-продувочные окна

вытеснения в промывном цикле приспособлен электроуправляемый клапан 11. При этом через клапан 10 и окна С внутренние полости подключенной фильтровальной камеры и фильтра в целом заполняются маслом. Далее включается подача воздуха, воздействие которого на струю масла, поступающего через клапан 10, способствует образованию в камере 7 эмульсии.

Цикл промывки осуществляется маслом, сосредоточенном в фильтровальной камере и в полости Б корпуса фильтра. Далее через ФЭ в обратном направлении проходит эмульсия, схлопывания пузырьков которой способствует разрушению отложений на фильтровальной сетке. Заканчивается промывка подачей дополнительного заряда воздуха через клапан 11, который сдувает остатки разрушенных отложений. Как только клапан 9 закрывается, продувка прерывается. Далее включается поворотное устройство 8, которое переводит золотник в новое положение.

Из фильтровальной камеры 3, где прошла регенерация, воздух удаляется через поплавковый клапан. Камера заполняется маслом и начинается осуществление фильтрации. К этому моменту следующая по ходу распределителя 5 фильтровальная камера выводится из работы и готовится к регенерации, которая начнется как только откроется клапан 9. Пройдя последовательно все камеры, распределительное устройство остановится в «нейтральном» положении, когда патрубки распределителя не будут сопрягаться ни с одним из входных и выходных окон корпуса фильтра 2.

Периодичность включения СРФ на регенерацию зависит от уровня загрязнения ММ, дисперсного состава НРП, моюще-диспергирующих свойств масла и адгезионных свойств отложений. Обычно регенерация ФЭ в фильтрах этой конструкции осуществляется при очистке ММ ДВС через 0,2-15 ч.

В результате моторных испытаний в двигателе 8ДН35/62 было установлено, что АМОК, включающий СРФД-120 и самоочищающийся центробежный сепаратор СОЦС-3, значительно результативнее штатной системы очистки (ШСО), содержащей тот же сепаратор и СРФ БМЗ (таблица).

Таблица – Результаты эксплуатационных испытаний СРФ в дизелях 8ДН35/62

| Показатель | ШСО | АМОК |
|--|-----------|-----------|
| Состояние масла к 2000 ч работы | | |
| Концентрация НРП продуктов, %: | | |
| – общих | 2,4±0,3 | 1,2±0,2 |
| – зольных | 0,45±0,06 | 0,27±0,04 |
| Щелочность, мг КОН/г | 3,6±0,4 | 6,1±0,8 |
| Кислотность, мг КОН/г | 4,2±0,5 | 2,8±0,4 |
| Степень окисления, % | 10,2±1,4 | 9,8±1,2 |
| Содержание смол, % | 6,8±0,9 | 5,1±0,6 |
| Старение и очистка масла | | |
| Интенсивность срабатывания присадок, г/ч | 3200±170 | 1150±60 |
| Интенсивность очистки от НРП, г/ч: | | |
| – общих | 1230±65 | 5890±260 |
| – зольных | 245±12 | 1610±80 |
| Периодичность обслуживания СРФ, тыс. ч | 1,6±0,3 | 5,2±0,8 |
| Скорость изнашивания деталей ДВС: | | |
| – комплект поршневых колец, г/1000 ч | 18,3±2,3 | 12,8±1,2 |
| – цилиндровая втулка, мкм/1000 ч | 15,4±2,1 | 10,1±0,8 |
| – шейки коленчатого вала, мкм/1000 ч | 9,2±0,8 | 5,6±0,5 |
| Нагаро- и лакообразование, балл: | | |
| – днище поршня | 3,6±0,3 | 3,2±0,3 |
| – поверхность над верхним кольцом | 3,8±0,4 | 2,4±0,3 |
| – канавки компрессионных колец | 2,8±0,3 | 1,5±0,2 |
| – канавки маслоъемных колец | 5,3±0,6 | 3,6±0,4 |
| – юбка поршня | 2,1±0,2 | 1,4±0,2 |
| – суммарная оценка | 20,2±2,1 | 14,2±1,7 |

Понижение в 1,43-1,64 раза скорости изнашивания основных деталей ДВС получено за счет более высокой тонкости отсева СРФД-120 (30 мкм против 90 мкм в СРФ БМЗ) и превосходства АМОК над ШСО по интенсивности очистки масла от общих и зольных НРП в 4,8-6,6 раза. Нагаро- и лакообразование на поршнях, оцененное по ОСТ 24.060.09-89, при ис-

пользовании АМОК в среднем составило 14,2 против 20,2 балла в случае, когда масло очищалось штатными средствами. Такой результат обусловлен меньшей концентрацией НРП примесей в масле и менее интенсивным срабатыванием присадок на этапе с СРФД-120.

Моторными испытаниями доказана высокая результативность АМОК, включающего СРФД-120 и центробежный сепаратор СОЦС-3. По периодичности обслуживания этот комплекс эффективнее в 4-5 раз, чем ШСО. Автономность работы СРФ нового поколения, как показал эксперимент на судах, повышена до 4000-8000 ч. СРФД-120 по сравнению с известными фильтрами уменьшает в дизеле 8ДН35/62 изнашивание, нагаро- и лакообразование основных деталей на 30-60 %.

Обобщение результатов испытания СРФД-120 на судах показало, что наиболее эффективно его использование в составе комбинированного маслоочистительного комплекса (см. рисунок 1). При этом важно грамотно перераспределить функциональное назначение и грязевую нагрузку между входящими в его состав агрегатами очистки. Увеличивая интенсивность удаления из ММ общих и зольных НРП сепарированием можно значительно снизить грязевую нагрузку на полнопоточно подключаемый в СС дизеля фильтр СРФД-120 и облегчить его функционирование. Это способствует обеспечению надежной защиты пар трения ДВС от абразивного изнашивания и увеличивает периодичность обслуживания фильтра-грязесборника.

Установка в СС судового дизеля за СРФД-120 сигнального (технологического) фильтра позволяет контролировать эффективную работу первого. В случае интенсивного повышения перепада давления на технологическом фильтре необходимо проводить вскрытие СРФ и проверять целостность и герметичность его ФЭ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Ресурсосберегающее маслоиспользование в судовых дизелях / Г.П. Кича, Б.Н. Перминов, А.В. Надежкин. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -372 с.
- 2 Кича, Г.П. Новые тканые материалы для саморегенерирующихся фильтров систем топливо- и маслоочистки судовых энергетических установок / Г.П. Кича, Г.Г. Галстян, В.В. Тарасов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№ 2. -С. 209-213.
- 3 Фильтрующий элемент самоочищающегося фильтра: а.с. 1084045 СССР, МКИЗ В01D 27/08 / Г.П. Кича [и др.]. -Бюл. №13. -3 с.
- 4 Самоочищающийся фильтр: а.с. 1212485 СССР, МКИЗ В01D 27/12 / Г.П. Кича [и др.]. -Бюл. №7. -4 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *саморегенерирующийся фильтр, очистка горюче-смазочных материалов, фильтрование, регенерация фильтрующих элементов*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт.техн.наук, профессор, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

Надежкин Андрей Вениаминович, докт.техн.наук, профессор, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

Пак Николай Каптыгевич, аспирант, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ, СОДЕРЖАЩИХ НИКЕЛЬ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

Г.В. Медведев, А.А. Мельберт, А.А. Новоселов, А.Л. Новоселов

IMPROVING CLEANING DIESEL EMISSIONS IN COMPOSITE MATERIALS CONTAINING NICKEL

Altai state technical university named I.I.Polzunova

G.V. Medvedev, A.A. Melbert, A.A. Novoselov, A.L. Novoselov

The paper considers the possibility of improving the treatment of harmful emissions of diesel engines with the use of composite materials containing nickel. The use of nickel in the manufacture of catalytic materials contributes to the formation of lasting framework of the catalytic material, increase corrosion resistance, heat resistance, increased catalytic properties.

Keywords: cleaning emissions, composite materials, catalyst, corrosion resistance

Рассмотрена возможность совершенствования очистки вредных выбросов дизелей с использованием композитных материалов, содержащих никель. Использование никеля в производстве каталитических материалов способствует образованию прочного каркаса каталитического материала, повышению коррозионной стойкости, термостойкости, усилению каталитических свойств.

Привлекательность применения никеля в пористых проницаемых каталитических материалах состоит в том, что он способствует стабилизации расплава реагентов в процессе взаимодействия, образованию прочного каркаса пористого материала, имеет каталитические свойства, повышает коррозионную стойкость, термостойкость [1, 2]. Ранее структурные исследования показали, что во всем интервале легирования основной составляющей взаимодействия в системах Ni-Al-Fe является твердый раствор на основе интерметаллического соединения NiAl.

Оценка эффективности каталитической очистки газов на полученных материалах с содержанием в шихте никеля от 5,0 до 12,5% по массе производилась на исследовательском комплексе, включающем в качестве генератора газов дизель КамАЗ-740 (8Ч12/12). В целях сохранения идентичности состава отработавших газов испытания проводились при одинаковых условиях, при одинаковых подачах топлива по нагрузочным характеристикам при частоте вращения коленчатого вала 2600 мин⁻¹ и значениях среднего эффективного давления 0...0,35...0,55...0,78 МПа, температуре окружающей среды 298 К, давлении окружающей среды 0,105 МПа, влажности 50%.

Авторы настоящей работы предложили следующую схему взаимодействия Ni (температура плавления – 1728 К) с Al (температура плавления – 933 К) в волне горения. Расплавленный Al, растекаясь по образцу, взаимодействует с твердым Ni, образует на его поверхности тонкий слой продуктов. Подобный процесс наблюдается и с Fe (температура плавления – 1812 К). Одновременно расплав насыщается Ni за счет непрерывного растворения слоя продуктов. По мере насыщения расплава Ni в нем возникают твердые промежуточные продукты. Конечный продукт образуется путем диффузии атомов Al в решетку промежуточного с последующей ее перестройкой.

Более легкоплавкие компоненты СВС-системы, такие как Al (температура плавления – 933 К); Si (температура плавления – 1367 К) являются элементами молекулярной диффузии по отношению к более тугоплавким. На поверхности частиц более тугоплавких компонентов наблюдается растекание расплава с его насыщением первыми в режиме реакционного растворения.

Результаты проведенных экспериментальных исследований показали, что с увеличением дозировки Ni в шихте диаметр пор уменьшается. При изменении соотношения (Ni/Al) с 0,25 до 0,97 диаметр изменяется со 180 до 114 мкм. Закономерность была описана выражениями:

$$d_p = -7,5718(C_{Ni}) + 218,72, \text{ мкм}; \quad (1)$$

$$d_p = -59,533\left(\frac{Ni}{Al}\right)^2 - 5,509\left(\frac{Ni}{Al}\right) + 181,14, \text{ мкм}. \quad (2)$$

Никель, активно участвующий в структурообразовании пористого проницаемого СВС-материала, оказывает значительное влияние на его физико-структурные свойства. При увеличении концентрации Ni с 5 до 12,5% происходит снижение среднего приведенного диаметра пор в 1,44 раза, пористости материала в 1,57 раза. При изменении соотношения содержания Ni/Al с 0,25 до 0,97 средний диаметр пор уменьшается в 1,58 раза.

Извилистость пор в проницаемых СВС-каталитических материалах косвенно свидетельствует о возможности организации течения отработавших газов в пористом материале с обеспечением достаточного контакта с катализаторами. На основании приведенных ранее работ авторами было установлено, что наибольшая извилистость пор достигается при дозировке в шихту по массе 12,5%.

Поскольку в известной научной литературе не описаны зависимости извилистости пор в пористом материале в зависимости от содержания в шихте никеля Ni и отношения Ni/Al, такие зависимости были описаны уравнениями:

$$\xi_{и} = 0,0038(C_{Ni})^2 - 0,0432(C_{Ni}) + 1,2711; \quad (3)$$

$$\xi_{и} = 0,141\left(\frac{Ni}{Al}\right)^2 + 0,052\left(\frac{Ni}{Al}\right) + 1,1275. \quad (4)$$

Известно [3, 4], что пористость СВС - каталитических материалов во многом определяет их физические, физико-механические и функциональные свойства. Следует отметить, что при увеличении в шихте концентрации никеля в виде порошка с 5 до 12,5% происходит снижение пористости полученного материала в 1,57 раз.

Выявленная закономерность описана уравнением:

$$П = -0,0024(C_{Ni})^2 + 0,021(C_{Ni}) + 0,4167, \%, \quad (5)$$

$$П = -0,1635\left(\frac{Ni}{Al}\right)^2 - 0,0105\left(\frac{Ni}{Al}\right) + 0,4785, \%. \quad (6)$$

Данные об изменении пористости СВС-материалов при изменении концентрации никеля в составе шихты обнаружены и описаны впервые, являются новыми.

Удельная поверхность во многом определяет обменные процессы вблизи катализатора, скорость превращения веществ и эффективность очистки газов от вредных веществ. Наиболее эффективные каталитические материалы имеют и большие удельные поверхности. По результатам обработки экспериментальных данных была получена математическая зависимость, связывающая величину удельной поверхности материалов с содержанием в шихте основного компонента – никеля

$$F_{y\delta} = -15,992\left(\frac{Ni}{Al}\right)^2 - 8,2197\left(\frac{Ni}{Al}\right) + 118,72, \text{ м}^2/\text{г}. \quad (7)$$

Другим, не менее важным показателем является проницаемость пористого материала. Исследования проведены в соответствии с ГОСТ 25283-82. Ранее было определено, что при содержании в шихте Fe_2O_3 в количестве 47,5% по массе показатель проницаемости $K_{пр}$ имеет значение $2,24 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2$. Падение проницаемости с увеличением концентрации никеля связано с увеличением твердой фазы железа в пористом проницаемом каркасе СВС-материалов [4].

Обращает на себя внимание, что при использовании в составе шихты Ni для получения каталитических материалов проницаемость СВС-каталитического материалов падает в области концентраций обеспечивающих наилучшие физические и физико-механические показатели, что приводит к большим гидравлическим сопротивлениям пористых проницаемых элементов каталитических нейтрализаторов [5, 6].

В литературе не встречается данных о зависимости проницаемости СВС-каталитических материалов в зависимости от дозировки основных компонентов в шихту. В связи с этим в процессе исследований на образцах были получены экспериментальные данные, которые описаны следующим математическим выражением, которое является новым

$$K_{пр} = -0,0182(C_{Ni})^2 + 0,2065(C_{Ni}) + 1,4699, \times 10^{-12} \text{ м}^2. \quad (8)$$

В процессе исследований обнаружено влияние концентрации никеля в шихте на изменение механической прочности материалов, полученных высокотемпературным синтезом. Так было установлено, что с увеличением содержания никеля в шихте с 5 до 12,5% по массе, значение механической прочности при сжатии $\sigma_{сж}$ может повышаться с 5,10 до 11,4 МПа.

Механическая прочность при изгибе $\sigma_{изг}$ полученных пористых проницаемых материалов, как и $\sigma_{сж}$, зависит от массового содержания Ni в шихте. С увеличением содержания Ni в шихте с 5 до 12,5% по массе механическая прочность при изгибе $\sigma_{изг}$ возрастает с 3,40 до 8,1 МПа или в 2,38 раза.

Обработка данных экспериментальных исследований свидетельствует о существовании линейных зависимостей между концентрацией в шихте никеля и величинами пределов прочности на сжатие и изгиб:

$$\sigma_{сж} = 0,8423(C_{Ni}) + 0,7906, \text{ МПа}; \quad (9)$$

$$\sigma_{изг} = 0,6361(C_{Ni}) + 0,1949, \text{ МПа}. \quad (10)$$

При рассмотрении выявленной зависимости ударной вязкости материала $\nu_{y\delta}$ от содержания в составе шихты Ni необходимо отметить нелинейность функций, резкое возрастание зависимости. Если рассматривать представленные данные по отдельным участкам, можно отметить, что при росте концентрации Ni от 5 до 9,5% рост ударной вязкости происходит в 1,06 раза, а при росте концентрации от 9,5 до 12,5 % – в 1,33 раза. Это свидетельствует о значительном росте $\nu_{y\delta}$ при увеличении содержания Ni в шихте свыше 9,5% по массе.

Математическая зависимость, связывающая влияние дозировки основных компонентов в шихту на ударную вязкость материалов, следующая

$$\nu_{y\delta} = 0,0007(C_{Ni})^2 - 0,0065(C_{Ni}) + 0,2676, \text{ Дж/м}^2. \quad (11)$$

При создании нового пористого проницаемого каталитического материала на основе

окалины стали, никеля, хрома и алюминия оказались неизвестными некоторые свойства.

Большой интерес представляла его коррозионная стойкость. Испытания на коррозионную стойкость полученных СВС-каталитических материалов были проведены согласно ГОСТ 9.908-85 на образцах стандартных размеров путем погружения в смесь (1:3) азотной и соляной кислот. Время выдержки образцов в смеси кислот, кроме времени, предусмотренного стандартом, составляло от 0 до 24 ч при нормальных условиях.

В результате таких реакций в пространствах между зёрнами металла остаются соединения типа хлорида аммония и сульфата алюминия с низкими прочностными качествами.

Следует отметить, что с увеличением содержания никеля в исходном составе шихты с 5,5 до 12,5% по массе потеря массы образца при испытаниях на коррозионную стойкость снижается с 18,9 до 12,9% или в 1,47 раза. А это значит, что коррозионная стойкость при этом возрастает в 1,47 раза. Обработка результатов исследования позволила получить аналитическую зависимость:

$$K_{cm} = -0,7097(C_{Ni}) + 22,213, \% \quad (12)$$

Отдельный интерес имеют результаты оценки функциональных свойств пористых проницаемых каталитических материалов на основе окалины стали в зависимости от содержания Ni в шихте.

Оценка проводилась по результатам исследований, направленных на определение эффективности очистки отработавших газов.

Обнаруженное изменение эффективности очистки отработавших газов при использовании в составе шихты Ni объясняется тем, что после СВС-процесса Ni присутствует в материале в виде сложных оксидных соединений и активен как катализатор.

$$\delta_{C_{xHy}} = 0,2538(C_{Ni})^2 - 2,3592(C_{Ni}) + 67,194, \% \quad (13)$$

$$\delta_{NOx} = 0,1629(C_{Ni})^2 + 1,442(C_{Ni}) + 16,606, \% \quad (14)$$

$$\delta_{Tч} = 0,0417(C_{Ni})^2 + 0,073(C_{Ni}) + 89,043, \% \quad (15)$$

$$\delta_{CO} = 0,1819(C_{Ni})^2 - 0,2722(C_{Ni}) + 68,89, \% \quad (16)$$

Никель Ni выступает в роли катализатора в процессах доокисления продуктов неполного сгорания и восстановления оксидов азота. Присутствие никеля Ni в составе СВС-каталитического материала значительно влияет на состав отработавших газов. Увеличение содержания Ni в шихте, но и с увеличением при растекании расплавов площади собственной поверхности катализатора. Исследовались блоки с вариациями состава никеля в шихте от 5 до 12,5%. При увеличении содержания Ni в шихте качество очистки выхлопных газов от твердых частиц возрастает с 90,5 до 96,5%, от оксида углерода – с 72 до 93%, от углеводородов - с 62 до 78%, от оксидов азота – с 27 до 60% [7].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Пористая фильтрующая керамика из силикатного сырья Сибири / Т.В. Вакалова, В.М. Погребенков, Н.А. Куликовская, Н.А. Рудина // Стекло и керамика. -2003. -№5. -С. 23-26.
- 2 Der Metallkatalysator als variables System // MTZ: Motortechn. Z. -2004. -Т.65, N10. -P. 798-803.
- 3 Мержанов, А.Г. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез литых тугоплавких неорганических соединений / А.Г. Мержанов, В.И. Юхвид, И.П. Боровинская // Докл. АН СССР. -1980. -Т.255, №1. -С. 120-124.
- 4 Экспериментальные исследования получения пористых материалов в режиме СВ-синтеза для трегеров / В.Э. Борзых [и др.] // Вестн. Том. гос. архитектур.-строит. ун-та. -2003. -№1. -С. 151-155.
- 5 Интегральные технологии самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / В.В. Евстигнеев, Б.М. Вольпе, И.В. Милюкова, Г.В. Сайгутин. -М.: Высш. шк., 1996. -274 с.
- 6 Получение пористых изделий методом термосинтеза из промышленных отходов для решения экологических проблем / В.В. Евстигнеев, О.А. Лебедева, Н.П. Тубалов, В.И. Яковлев // Проблемы и перспективы литейного пр-ва. -Барнаул, 1999. - Вып.1. -С. 190-191.
- 7 Мельберт, А.А. Эффективность СВС-каталитических блоков в нейтрализаторах для дизелей / А.А. Мельберт, А.А. Новоселов // Вестн. АлтГТУ им. И.И. Ползунова. -1999. -№2. -С. 157-158.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *очистка вредных выбросов, композитные материалы, катализатор, коррозионная стойкость*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Медведев Геннадий Валериевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»*
Мельберт Алла Александровна, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Новоселов Александр Александрович, канд. техн. наук, инженер ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»
Новоселов Александр Леонидович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И.Ползунова»*

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Новосибирское командное речное училище им. С.И.Дежнева – структурное подразделение ФГОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.Г. Куделин, Н.А. Миронова, А.Г. Николаев

THE ECOLOGICAL MODEL OF CLEANING OF THE USED GASES OF DIESELS

Novosibirsk state academy of water transport

Novosibirsk team river school named S.I. Dezhneva – structural unit of Novosibirsk state academy of water transport

O.G. Kudelin, N.A. Mironova, A.G. Nikolaev

Construction of the muffler of noise of the exhaust and cleaning of the used gases of diesels, allowing not only to reduce noise of the used gases, but also to solve environmental problems on cleaning of the used gases from carbon black, a deposit poisoning and contaminating substances is developed.

Keywords: cleaning of the used gases, muffler of noise, ecological model, holders with the catalytic agent

Разработана конструкция глушителя выхлопа и очистки отработавших газов дизелей, позволяющая не только снизить шум отработавших газов, но и решать проблемы экологии по очистке отработавших газов от сажи, нагара, отравляющих и загрязняющих веществ.

Известны глушители выхлопа для судовых дизелей, содержащие ряд последовательных объёмов с центральными перфорированными трубами, обеспечивающими гашение импульсов выпускных газов [1, 2]. Недостатком таких глушителей является невозможность очистки внутренней поверхности этих объёмов от сажи и частиц нагара, так как в большинстве своём это неразборные конструкции.

Авторами разработана конструкция глушителя выхлопа и очистки отработавших газов дизелей (рисунки 1-4). Она позволяет не только снизить шум отработавших газов, но и решать проблемы экологии по очистке отработавших газов от сажи, нагара, отравляющих и загрязняющих веществ.

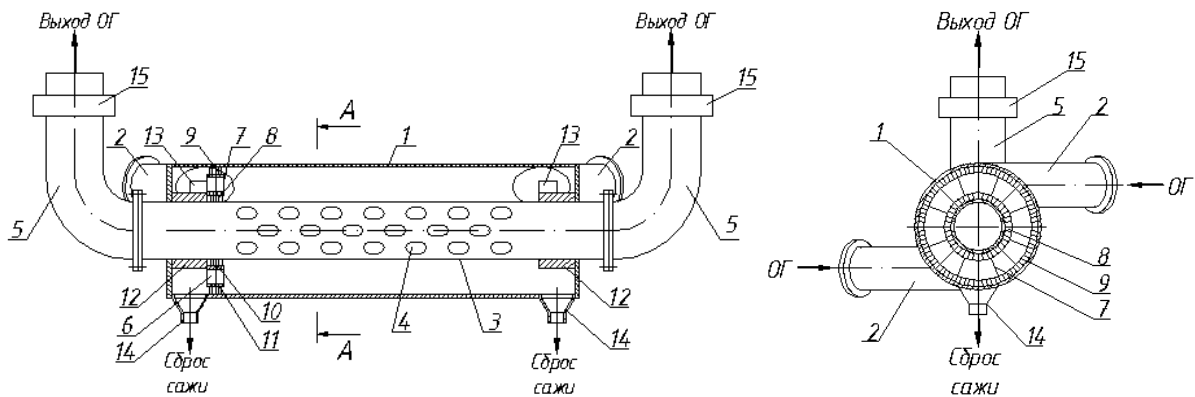


Рисунок 1 – Глушитель

Конструкция глушителя выхлопа содержит цилиндрический корпус 1, на оконечностях которого установлены тангенциальные патрубки 2 для подвода отработанных газов (ОГ). По оси цилиндрического корпуса 1 установлена выпускная труба 3 с перфорацией 4 в средней части и патрубками 5 на основаниях цилиндрического корпуса 1. На трубе 3 внутри корпуса 1 установлен с возможностью перемещения и вращения щёточный диск 6 с лопатками 7 и щётками 8 и 9. Внутренние щётки 8 установлены на внутренней обойме 10, запрессованной на внутреннем ободе диска 6, и взаимодействуют с внешней поверхностью выпускной трубы 3. Наружные щётки 9 установлены на внешней обойме 11, запрессованной на внешнем ободе диска 6, и взаимодействуют с внутренней поверхностью корпуса 1. Таким образом, щёточный диск опирается щётками на внутренней поверхности корпуса и наружной поверхности перфорированной выпускной трубы. На выпускной трубе 3 внутри корпуса 1 у его оснований установлены ограничители 12 перемещений диска 6 и датчики 13 конечных положений диска. На оконечностях корпуса 1 в его нижней части установлены конусные патруб-

ки 14 для сброса сажи и продуктов нагара. На патрубках 5 выпускной трубы установлены сменные кассеты 15 с катализатором, предназначенным для дальнейшей очистки отработавших газов. Тангенциальные патрубки 2 соединены с выпускной трубой 16 двигателя 17 посредством переключаемой задвижки 18 с приводом 19.

Глушитель шума выхлопа работает следующим образом. Пусть щёточный диск 6 находится на трубе 3 в произвольном промежуточном положении, а переключаемой задвижкой 18 задействованы левые тангенциальные патрубки 2. В этом случае закрученный поток ОГ, взаимодействуя с лопатками 7, начнёт вращать диск 6 и своим динамическим напором перемещать его к правому ограничителю 12. При этом ОГ будут выходить через перфорацию 4 внутрь выпускной трубы 3, и далее через патрубки 5 и кассеты 15 с катализатором. При достижении щёточным диском 6 правого ограничителя 12 правый датчик 13 выдаст управляющий сигнал на привод 19 переключаемой задвижки 18, которая повернётся и направит ОГ на правые тангенциальные патрубки 2 и диск 6, вращаясь в прежнем направлении, начнёт перемещаться

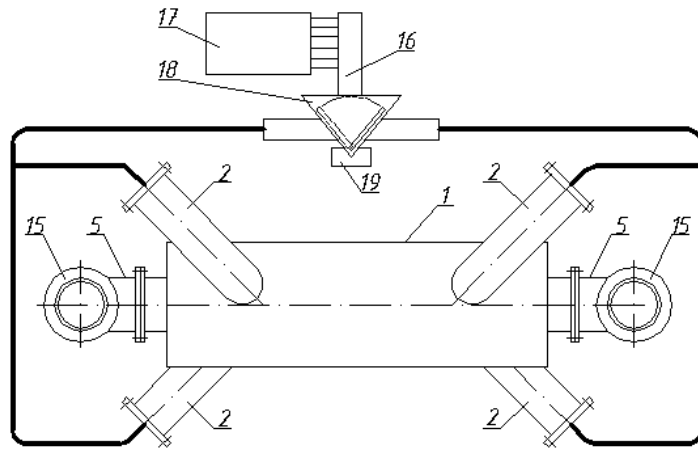


Рисунок 2 – Вид глушителя сверху

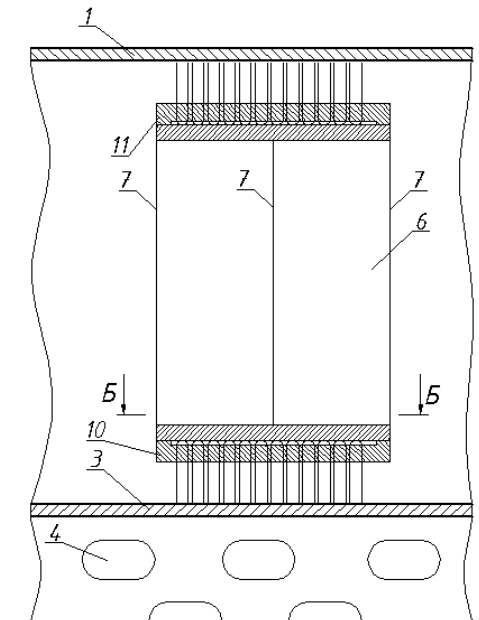


Рисунок 3 – Способ установки щётки на наружном и внутреннем ободьях диска

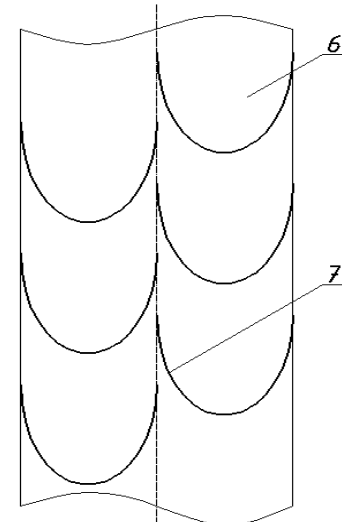


Рисунок 4 – Лопатки диска

под действием динамического напора к левому ограничителю. Таким образом, наружная поверхность выпускной трубы 3 и внутренняя поверхность цилиндрического корпуса 1 будут очищаться щётками диска, а частицы сажи и нагара, не вылетевшие через патрубки 5 будут сдвигаться поочерёдно к конусным патрубкам 14. Тангенциальные патрубки 2 слева и справа присоединены к корпусу 1 одинаково, поэтому при переключении задвижки 18 направление закрутки газового потока будет сохраняться, что обеспечит вращение щёточного диска в прежнем направлении. При этом, изменение направления динамического напора ОГ вызовет изменение продольного перемещение диска 6 при минимальном сопротивлении, вызываемым только трением движения, которое много меньше трения покоя. Наличие двух выпускных патрубков позволяет беспрепятственно поочерёдно менять кассеты с катализатором для дополнительной очистки отработавших газов от загрязняющих и отравляющих веществ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Двигатели внутреннего сгорания: устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: учебник для студен-

тов вузов / Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. -Изд. 3-е, перераб. и доп. -Машиностроение, 1980. -288 с.
2 А.с СССР №1467229. -М. F01N 1/12, 3/02.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: очистка отработавших газов, глушитель, экологическая модель, кассеты с катализатором

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Куделин Олег Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Миронова Надежда Александровна, преподаватель НКРУ им. С.И.Дежнева – СП ФГОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Николаев Анатолий Геннадьевич, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Мичурина, 4, НКРУ им. С.И.Дежнева – СП ФГОУ ВПО «НГАВТ»

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

ООО «Научно-производственное объединение «Ультразвуковые системы»

Я.Я. Вельц

NEW TECHNOLOGIES OF ULTRASONIC CLEANING OF COMPLEX SHAPED PARTS

Scientific and production association Ultrasound systems

Ya.Ya Velts

In the article are described the technologies and equipment for cleaning of complex shaped parts based on the effect of ultrasonic fluctuations in hydraulic environment on them. It provides unique patterns of cleaning methods, introduced at different enterprises, which allow to restore the details unrecoverable by other methods.

Keywords: ultrasonic technologies, active environment, cavitation, quality of cleaning, radiant heater, hydraulics

Описаны технологии и оборудование для очистки деталей сложной формы, основанные на воздействии на них ультразвуковых колебаний в гидравлической среде. Приведены уникальные примеры очистки, внедренные на различных предприятиях, позволяющие восстанавливать детали, невозможные для восстановления другими способами.

В практике использования транспортных средств, включая суда различных типов, ставится задача повышения их ресурса при сохранении их технических характеристик. В процессе эксплуатации судовые системы подвергаются воздействию внешних факторов. Кроме естественного износа, существуют причины, ухудшающие эксплуатационные свойства транспортных средств, но позволяющие восстановить качество деталей. Наиболее характерные примеры: налипание на винты судов, отложение солей на поверхностях деталей, нагары на деталях судовых энергетических установок, отложения на деталях топливных систем и т.д. В процессе ремонта транспортных систем возникает проблема очистки, которая должна продлить ресурс этих систем. При этом возникает глобальная задача технологий ремонта и восстановления транспортных средств, которую можно описать математически в виде:

$$T_{\text{экспл}} \rightarrow \max | ZP \leq C_{\text{доп}} ; T_{\text{рем}} \rightarrow \min | ZP \leq C_{\text{доп}} , \quad (1)$$

где $T_{\text{экспл}}$ – время эксплуатации транспортного средства;

$T_{\text{рем}}$ – время нахождения транспортного средства в ремонте;

ZP – затраты на ремонт;

$C_{\text{доп}}$ – допустимые затраты на ремонт.

Требования (1) в принципе понятны. Первое требование означает тенденцию к максимальному времени эксплуатации конкретного транспортного средства при условии разумных затрат на ремонт, второе – желание минимизировать время ремонта при тех же граничных условиях. Первое неравенство описывает качество ремонта, второе – затраты на ремонтно-восстановительные операции, то есть технологии ремонта.

Автором предложена и реализована на множестве приложений технология очистки деталей с помощью ультразвуковых технологий. Ее сущность состоит в следующем. Обрабатываемая деталь погружается в ванну, заполненную жидкостью (назовем ее активной средой), причем в дно и стенки ванны встроены ультразвуковые излучатели. После погружения детали (или нескольких деталей) включаются излучатели, и начинается собственно процесс очистки. Физические основы очистки основаны на следующих принципах.

1 Жидкости любого типа обладают уникальным свойством несжимаемости: при переда-

че механического усилия оно передается практически без затуханий и по всем направлениям одинаково. Единственное ограничение – это закон сохранения энергии: суммарная энергия волны в гидравлической среде не превышает энергии источника.

2 Физические свойства волновых процессов совпадают с принципами других сред распространения волн. В частности, существует скорость распространения гидравлических волн M , зависящая от множества факторов (свойств жидкости, частоты волн, температуры среды и т.д.).

В зависимости от частоты F и скорости распространения M появляется очень важная характеристика – длина волны

$$\lambda = \frac{M}{F}. \quad (2)$$

Для ультразвуковых систем очистки эта величина имеет очень важное значение, связанное с разрешающей способностью. Любой волновой процесс основан на понятии плоской волны, ассоциирующейся с гармоническим колебанием

$$P(t) = P_M \exp(jFt), \quad (3)$$

где $P(t)$ – давление гидравлической среды в направлении распространения волны. Выражение описывает типичное гармоническое колебание, в котором возникают типичные явления, называемые пучностями (максимумами давления в среде) и узлами (нулями синусоиды). В последнем случае воздействие гидравлической волны на поверхность обрабатываемой детали минимально, что нежелательно.

Кроме указанных свойств, на практике учитывается другое свойство систем очистки: гидравлические волны практически без потерь отражаются от стенок ванны и с незначительными затуханиями от стенок детали. Возникают сложные процессы, связанные с дифракцией и интерференцией волн. Автором [1] исследовалась задача для ванны типа параллелепипеда в виде математической модели. Исходное волновое уравнение приобретает вид

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \quad (4)$$

где

$$u = \sqrt{f'(\rho_0)}. \quad (5)$$

Выражение (4) содержит величину u , физический смысл которой соответствует скорости распространения упруго-вязкой волны в гидравлической среде. Исходя из (5), скорость распространения u пропорциональна квадратному корню из производной давления по плотности.

Введем понятие модуля упругости

$$\mu = \rho f'(\rho) \varepsilon = E \varepsilon, \quad (5)$$

где E – взвешенный модуль упругости

$$E = \rho f'(\rho) = \gamma \rho.$$

Тогда волновое уравнение приобретает вид

$$\frac{\partial^2 f}{\partial t^2} = \frac{E}{\rho} \frac{\partial^2 f}{\partial x^2}, \quad (6)$$

откуда

$$u = \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (7)$$

Из (7) запишем

$$E = \gamma u^2. \quad (8)$$

Удельное акустическое сопротивление определяется как

$$\delta = \sqrt{E \gamma} = \rho \sqrt{f'(\rho)} = \rho u. \quad (9)$$

Тогда средняя плотность потока энергии в синусоидальной волне

$$\bar{q} = \frac{1}{2} \sqrt{\gamma \rho} V_m^2 = \frac{1}{2} \frac{\Delta p_m^2}{\sqrt{\gamma \rho}}, \quad (10)$$

где $V_m, \Delta p_m$ – соответственно амплитуды скорости и давления.

На основании приведенных выражений была выполнена компьютерная модель процесса [2]. Для примера приведем результаты моделирования в трехмерном варианте (рисунок 1).

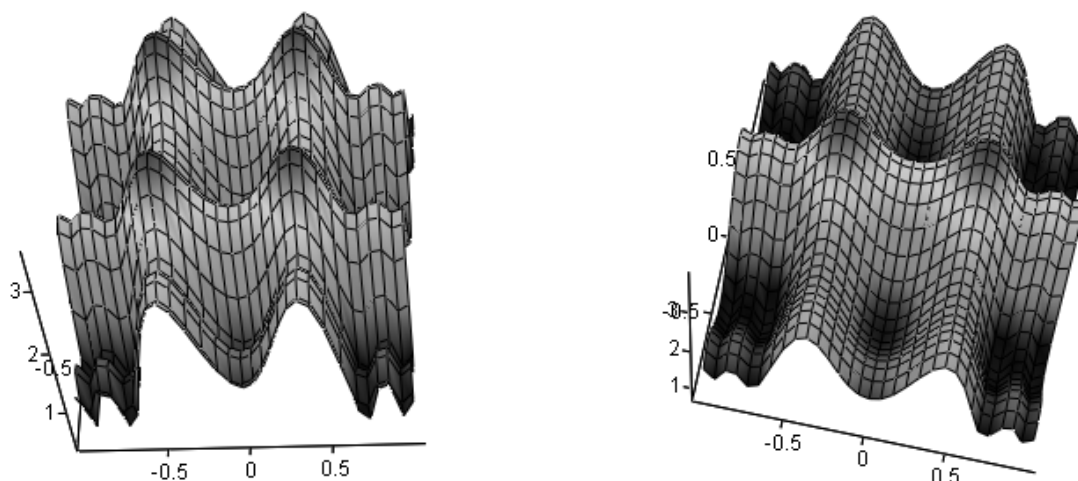


Рисунок 1 – Результаты моделирования давления в ванне типа параллелепипеда

Как видно, поверхность распределения давления имеет достаточно сложную форму. На рисунке 2 приведена другая интерпретация расчетов в виде горизонтальных срезов распределения давления. Расчеты выполнены в среде Matlab.

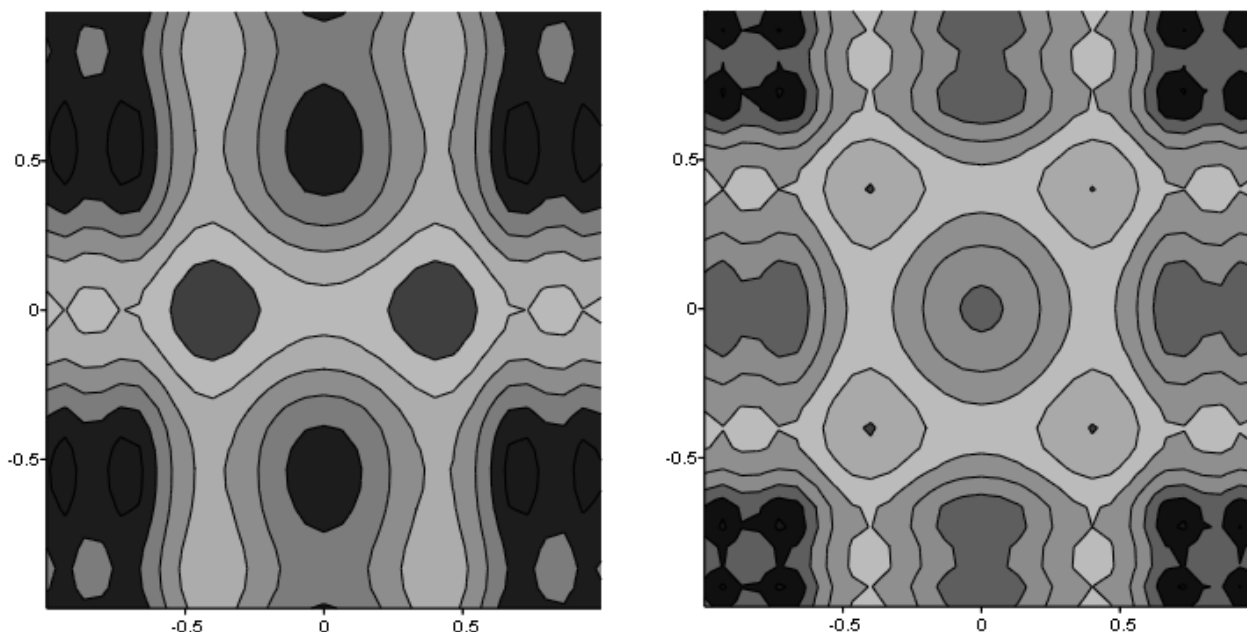


Рисунок 2 – Горизонтальные срезы распределения давления

С учетом формы детали расчеты получаются намного сложнее, даже для простейшей модели детали в виде сферы.

Очень важно выбрать частотный диапазон генераторов. Он должен учитывать множество факторов, включая форму и размеры деталей, исполнение излучателей и их КПД, свойства жидкости с моющими добавками и проч. Автором предложен модульный принцип реализации систем очистки, согласно которому базовым элементом для всех конструктивных исполнений является ультразвуковой модуль. Количество модулей и места размещения излучателей зависят, прежде всего, от размеров обрабатываемых узлов. В качестве активной среды выбрана обычная вода с добавлением биоразлагаемых технических моющих средств. Это обеспечило главные преимущества: ресурсосбережение, экологичность, пожаробезопасность.

Многочисленные внедрения позволили обеспечить универсальность методики и щадящий режим обработки, при котором детали даже самой сложной формы, которые до сих пор просто выбрасывались, с использованием ультразвуковых технологий можно восстанавливать. В качестве примера на рисунке 3 приведены фотографии топливного фильтра до и после очистки.

Кроме прочего, автором решены и задачи очистки моющего раствора, в ходе которых

загрязняющие фракции выделяются в твердом виде, а раствор может использоваться повторно, что составляет основу безотходных технологий.



Рисунок 3 – Топливный фильтр до (а) и после (б) очистки

Разработанные методика и технологии очистки доведены до уровня тиражирования и сдачи заказчику «под ключ». Автор надеется на дальнейшее сотрудничество с заинтересованными читателями журнала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вельц, Я.Я. Расчет эффективного размещения ультразвуковых излучателей в технологических установках / Я.Я. Вельц, С.В. Горелов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -Новосибирск, 2005. -№5.
- 2 Вельц, Я.Я. Повышение надежности судовых энергетических установок применением ультразвуковых технологий: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Я.Я. Вельц. -Новосибирск, 2005. -20 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *ультразвуковые технологии, активная среда, кавитация, качество очистки, излучатель, гидравлика*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Вельц Яков Яковлевич, канд. техн. наук, директор ООО «НПО «Ультразвуковые системы»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644007, г.Омск, ул. Чапаева, 111, ООО «НПО «Ультразвуковые системы»*

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ РАНКА-ХИЛША ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

ОАО «15 центральный авторемонтный завод»
ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет»
(национальный исследовательский университет)

В.С. Кукис, А.А. Малозёмов, В.А. Романов

USING THE RANQUE-HILSCH VORTEX TUBE TO IMPROVE THE ECONOMICS AND ECOLOGICAL INDICATORS OF TURBOCHARGED INTERNAL COMBUSTION ENGINES

Central motorcar repair plant No.15
South Ural state university (national research university)
V.S. Kukis, A.A. Malozemov, V.A. Romanov

The paper considers the using of Ranque-Hilsch vortex tube to improve the economics and ecological indicators of turbocharged ICE.

Keywords: exhaust gas recirculation, charge air cooling, catalytic converter, fuel heating

Рассмотрено использование вихревой трубы Ранка-Хилша для улучшения экономических и экологических показателей комбинированных ДВС.

Вихревые трубы (ВТ), реализующие эффект Ранка-Хилша, разделяют поток газа на две составляющие – горячую и холодную. Они представляют собой простое, надежное и недорогое устройство, не требующее специализированного обслуживания (рисунок 1) и весьма широко используются в различных областях техники [1, 2].

холодных течений; 5-периферийное вихревое течение; 6-дроссельный клапан (вентиль)

Авторы уже публиковали свои предложения по использованию ВТ для повышения эф-

фektivности поршневых тепловых двигателей [3]. Настоящая статья содержит материалы по дальнейшему развитию этого направления в двигателестроении.

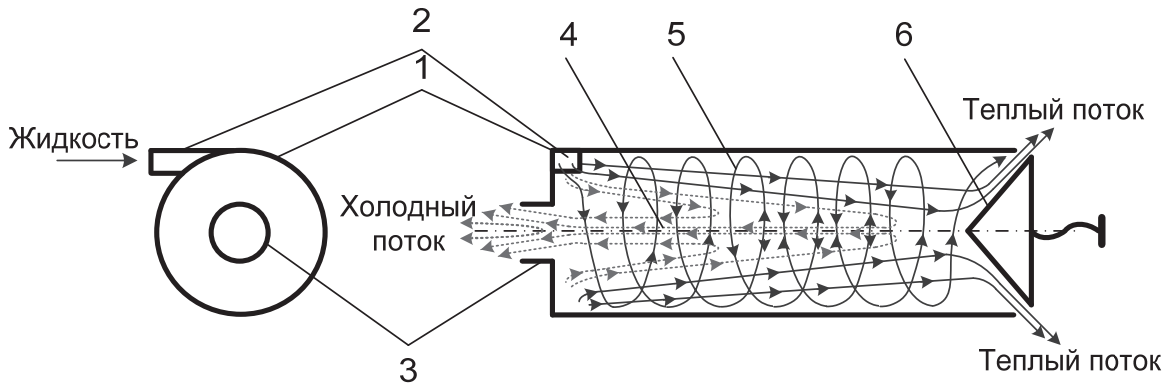


Рисунок 1 – Принципиальное устройство вихревой трубы: 1-корпус; 2-завихритель тангенциального типа для подачи газа; 3-патрубок выхода холодного потока; 4-центральная зона. На рисунке 2 показана принципиальная схема комбинированного ДВС с охладителем наддувочного воздуха (ОНВ), рециркуляцией и нейтрализацией отработавших газов (ОГ), оборудованного ВТ, установленной на выпуске после газовой турбины.

Работа двигателя происходит следующим образом. Отработавшие газы из цилиндра проходят через газовую турбину, которая приводит в действие компрессор, и попадают в ВТ. Здесь поток ОГ разделяется на два: охлажденный и подогретый. Регулирование работы ВТ осуществляется блоком управления, путем перемещения дроссельного клапана.

Охлажденный поток ОГ направляется в ОНВ и охлаждает наддувочный воздух.

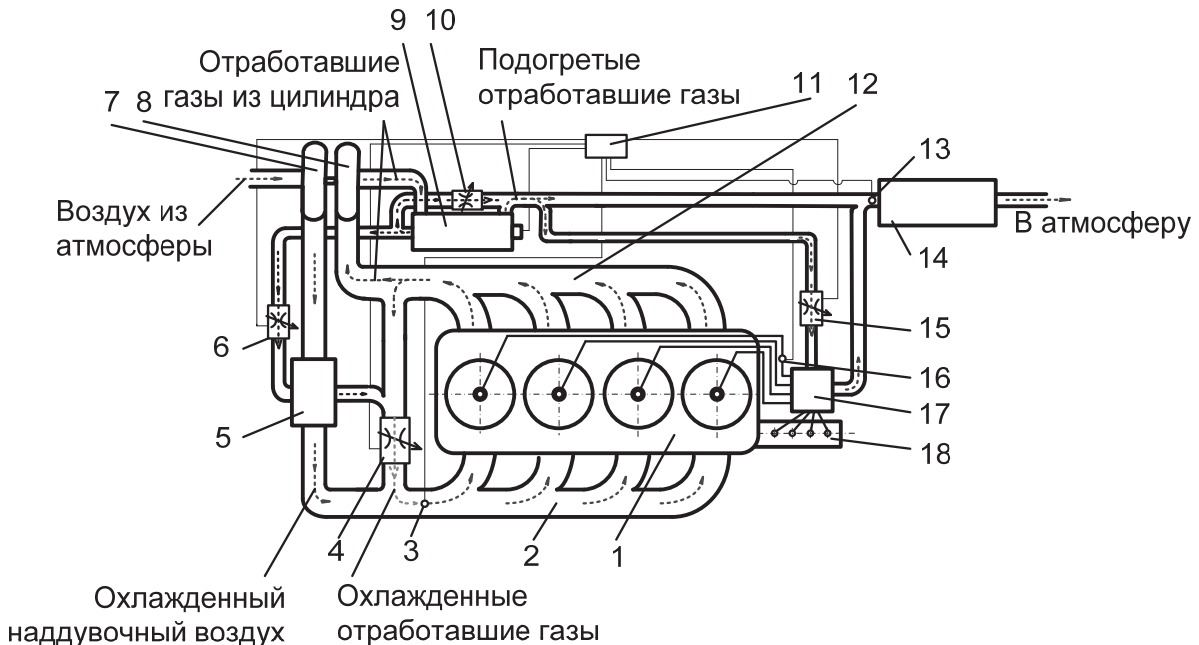


Рисунок 2 – Принципиальная схема комбинированного ДВС с охладителем наддувочного воздуха, рециркуляцией и нейтрализацией отработавших газов: 1-дизель; 2-впускной коллектор; 3-датчик температуры свежего заряда; 4-клапан рециркуляции отработавших газов; 5-охладитель наддувочного воздуха; 6-клапан регулирования количества охлажденных отработавших газов, направляемых в охладитель наддувочного воздуха; 7-компрессор; 8-газовая турбина; 9-вихревая труба Ранка-Хилша; 10-клапан регулирования количества охлажденных отработавших газов, направляемых в каталитический нейтрализатор; 11-блок управления; 12-выпускной коллектор; 13-датчик температуры отработавших газов перед каталитическим нейтрализатором; 14-каталитический нейтрализатор; 15-клапан регулирования количества подогретых отработавших газов, поступающих в подогреватель топлива; 16-датчик температуры топлива в трубопроводах высокого давления; 17-подогреватель топлива; 18-топливный насос высокого давления

После ОНВ этот поток поступает трубопровод, по которому часть ОГ из выпускного коллектора направляется во впускной трубопровод. Количество рециркулирующих газов регулируется клапаном 4, связанным с блоком управления 11. Температура свежего заряда во впускном коллекторе регулируется клапаном 6, приводимым в действие блоком управления в зависимости от сигнала, поступающего от датчика температуры свежего заряда.

Подогретый поток ОГ на выходе из ВТ разделяется на два. Первый направляется в каталитический нейтрализатор (КН), повышая в нем температуру, что обеспечивает высокоэффективную его работу на малых нагрузках и режимах холостого хода (известно, что использование КН при температурах ниже 350 °С является неэффективной, кроме того, продолжительная эксплуатации дизеля на режимах малых нагрузок в значительной мере влияет на срок службы КН вследствие образования коксовых отложений, осаждения смол и нагаров [4]).

Однако при работе двигателя на режимах внешней скоростной характеристики КН испытывает высокие термические нагрузки, под действием которых возможны перегрев и прогар его корпуса, а также разрушение каталитических элементов. Поэтому при необходимости снижения температуры ОГ, поступающих в КН, часть охлажденных в ВТ ОГ через клапан 10 поступает на вход в КН. Оптимальная температура смешенного потока ОГ регулируется блоком управления, в который поступают сигналы от датчика температуры 13.

Часть подогретых ОГ после ВТ направляется в подогреватель топлива, установленный после топливного насоса высокого давления направляется к форсункам, что позволяет обеспечить качественное смесеобразование на режимах промежуточных нагрузок (особенно при пуске дизелей в условиях низких температур окружающей среды). Оптимальная температура подогрева обеспечивается регулированием количества проходящего через подогреватель потока ОГ с помощью клапана 15. Управление этим клапаном осуществляется блоком 11 по сигналам, поступающим от датчика температуры топлива в трубопроводах высокого давления.

С учетом описанной работы комбинированного ДВС, оборудованного ВТ, можно сделать следующие выводы.

1 Исключение затрат энергии на охлаждение рециркулирующих газов (в случае использования жидкостных охладителей рециркулирующих газов) позволяет несколько повысить экономические показатели двигателя. При этом существенно повышается эффективность (глубина) охлаждения рециркулирующих газов по сравнению с традиционными охладителями рециркулирующих газов, что увеличивает коэффициент наполнения двигателя и также способствует улучшению экономических и экологических показатели двигателя.

2 Обеспечение оптимальной для эффективной работы КН температуры ОГ позволяет снизить выбросы вредных веществ в окружающую среду, исключить вероятность образования коксовых отложений, осаждения смол и нагаров, а также исключить перегрев (прогар) корпуса нейтрализатора и разрушение его каталитических элементов.

3 Исключение затрат энергии на охлаждение наддувочного воздуха в ОНВ позволяет несколько повысить экономические показатели двигателя.

4 Подогрев топлива, поступающего в цилиндры, обеспечивает качественное смесеобразование на режимах промежуточных нагрузок, что способствует улучшению экономических, экологических и пусковых характеристик дизелей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вихревые аппараты / А.Д. Сулов, С.В. Иванов, А.В. Мурашкин, Ю.В. Чижиков. -М.: Машиностроение, 1985. -256 с.
- 2 Меркулов, А.П. Вихревой эффект и его применение в технике / А.П. Меркулов. -М.: Машиностроение, 1969. -183 с.
- 3 Повышение эффективности поршневых тепловых двигателей за счет использования вихревых труб / В.С. Кукис [и др.] // Материалы за VIII международна научна практична конференция, «Научният потенциал на света – 2012» (17-25 септември 2012). -София, 2012. -Т.17 -С. 23-37.
- 4 Снижение токсичности автотракторных дизелей: учеб. пособие / А.Л. Новоселов, С.В. Новоселов, А.А. Мельберт, А.В. Унгефук; под ред. А.Л. Новоселова. -Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 1996. -122 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *рециркуляция отработавших газов, охлаждение наддувочного воздуха, каталитический нейтрализатор, подогрев топлива*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кукис Владимир Самойлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»
Малозёмов Андрей Адиевич, докт. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»
Романов Виктор Анатольевич, докт. техн. наук, директор ОАО «15 ЦАЗ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *454080, г. Челябинск, пр. Ленина, 76, ФГБОУ ВПО «ЮУГУ НИ»
630056, г.Новосибирск, ул.Варшавская, 1, ОАО «15 ЦАЗ»*

СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

STATIC STABILITY OF ELASTIC NONLINEAR ANTI-VIBRATION DEVICE OF NEW GENERATION

Novosibirsk state academy of water transport

P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

In article power and stiffness characteristics of pneumatichydraulic anti-vibration support are investigated. The conclusion that the increase in coefficient of completeness of the power characteristic almost twice in comparison with rubber-metal and three times in comparison with spring vibration isolators.

Keywords: vibration insulation of ship power installations

Исследованы силовая и жесткостная характеристики пневмогидравлических виброизолирующих опор. Сделан вывод о том, что имеет место увеличение коэффициента полноты силовой характеристики почти в два раза по сравнению с резинометаллическими и в три раза по сравнению с пружинными виброизоляторами.

Для более полного рассмотрения вопроса устойчивости пневмогидравлических виброизолирующих опор (ПВО) необходимо исследовать ее статическую устойчивость, то есть ее способность восстанавливать исходный режим после воздействия малого возмущения [1]. Для этого исследуем силовую и жесткостную характеристики ПВО.

Предположим, что на ПВО действует возмущающая сила P (рисунок 1).

Определим силу сопротивления P ПВО, которая складывается из гидравлического сопротивления и сопротивления газовой пружины

$$P = \frac{Q^2 \gamma S}{2gk^2 \mu^2 S_0^2} + \frac{\rho_0 S H^n}{(H-x)^n} \quad (1)$$

где S – площадь поршня;

k – количество дросселирующих отверстий в гидравлическом поршне;

μ – коэффициент расхода;

S_0 – площадь поперечного сечения дросселирующего отверстия;

γ – объемный вес жидкости в гидравлической полости опоры;

H – расстояние от днища цилиндра до поршня в его начальном положении;

x – перемещение поршня;

ρ_0 – начальное давление в газовой пружине;

n – показатель политропы.

Графическая зависимость силовой характеристики ПВО от перемещений поршня представлена на рисунке 2. Следует отметить, что по своей форме силовая характеристика ПВО является «мягкой».

Известно, что основной принцип эффективной виброизоляции, предложенный А.К. Зуевым [2], заключается в том, что силовая характеристика виброизолирующего механизма должна состоять из участков нулевой (или квазинулевой) жесткости.

Из рисунка 2 видно, что на силовой характеристике ПВО имеется промежуток с квазинулевой жесткостью. Следовательно, на участке $(0-1,5) \cdot 10^{-4}$ м обеспечивается наиболее эффективная виброзащита.

Выражение для жесткостной характеристики ПВО [1]

$$C = \frac{\rho_0 \gamma S Q^2 H^n}{x \left[2g \rho_0 k^2 \mu^2 S_0^2 H^n + \gamma Q^2 (H-x)^n \right]} \quad (2)$$

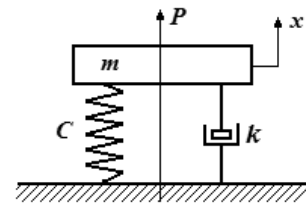


Рисунок 1 – Принципиальная схема колебательной системы

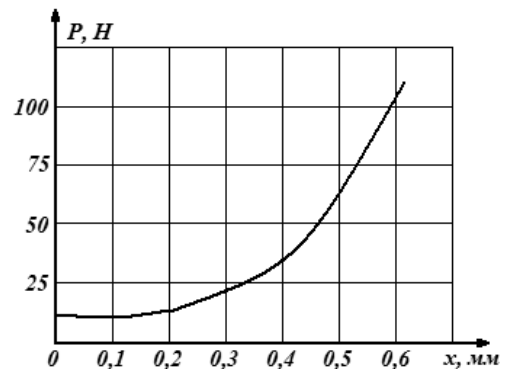


Рисунок 2 – Силовая характеристика ПВО

Зависимость коэффициента жесткости ПВО от перемещений поршня x представлена на рисунке 3.

Минимальную жесткость опоры можно получить, создавая определенный перепад давления в опоре. Технически это выполняется за счет гидравлического клапана. Увеличение или уменьшение нагрузки вызывает смещение дизель-генератора от заданного положения и приводит к изменению сопротивления клапана так, что давление в ПВО меняется и компенсирует изменение нагрузки.

Важным критерием в оценке силовой характеристики ПВО, с точки зрения ее энергоемкости, является коэффициент полноты силовой характеристики

$$\Pi = \frac{\mathcal{E}}{P_{\max} x} = \frac{\int_0^x P(x) dx}{P_{\max} x}, \quad (3)$$

где \mathcal{E} – энергоемкость опоры;

P_{\max} – конечное наибольшее усилие сжатия;

x – величина сжатия;

$P(x)$ – силовая характеристика опоры.

Коэффициент полноты силовой характеристики показывает, во сколько раз площадь данной характеристики при сжатии ПВО отличается от площади прямоугольника со сторонами, равными значениям хода и наименьшей силы сжатия. Известно, что чем больше значения этого коэффициента, тем больше энергии способен поглотить виброизолятор, а, следовательно, тем ниже будут максимальные усилия при равных наибольших энергиях колебаний и одинаковом заданном фоне. При относительной деформации упругих элементов, не превышающих 20%, коэффициент полноты силовой характеристики для пружинных опор составляет $\Pi = 0,25-0,28$, для резиновых $\Pi \approx 0,4$.

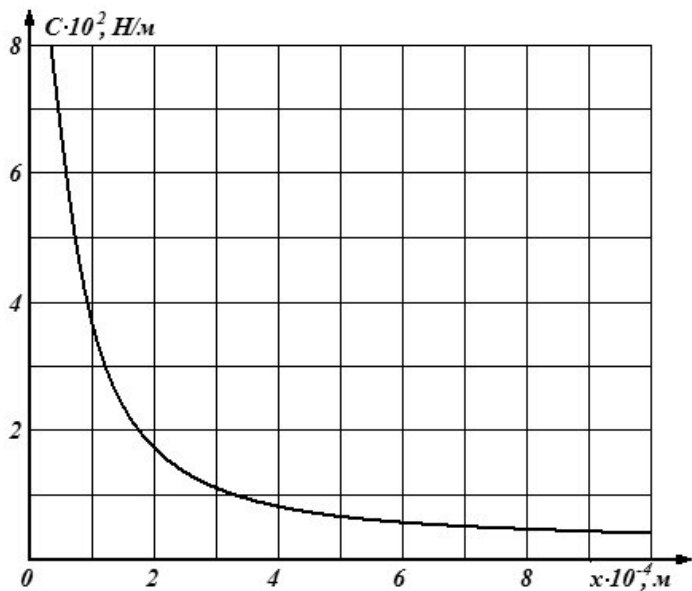


Рисунок 3 – Зависимость коэффициента жесткости опоры C от перемещений поршня

Для определения значения полноты силовой характеристики ПВО разложим второе слагаемое (1) в ряд Маклорена, в первом приближении для амплитуд прогиба $x \leq 0,3H$.

Подставляя полученное выражение в (1) и проинтегрировав его, получим выражение для полноты силовой характеристики

$$\Pi = \frac{1}{P_{\max}} \left[\frac{Q^2 \gamma S x^{-1}}{2g k^2 \mu^2 S_0^2} + p_0 S x^{-1} + \frac{n p_0 S}{H} + \frac{n(n+1)p_0 S^2}{H^2} x \right]. \quad (4)$$

Подставляя в полученную формулу известные значения параметров ПВО при $P_{\max} = 2$ МН, получим $\Pi = 0,76$, что показывает увеличение коэффициента полноты силовой характеристики почти в 2 раза по сравнению с резинометаллическими и в 3 раза по сравнению с пружинными виброизоляторами. Это говорит о том, что разработанная ПВО выполняет роль очень хорошего виброизолятора, способного значительно поглотить виброактивную энергию СЭУ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
 2 Зуев, А.К. Синтез виброизолирующих подвесок судового энергетического оборудования: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / А.К. Зуев. -СПб, 1995. -38 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброизоляция судовых энергетических установок
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

DYNAMIC STABILITY OF ELASTIC NONLINEAR ANTI-VIBRATION DEVICE OF NEW GENERATION
Novosibirsk state academy of water transport
P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

In article dynamic stability of the pneumatichydraulic anti-vibration support is investigated, areas of dynamic stability air defenses defining its steady situation are constructed. Values of key parameters of air defenses which have passed optimization, are in areas of stability of a device.

Keywords: vibration insulation of ship power installations

Исследована динамическая устойчивость пневмогидравлических виброизолирующих опор (ПВО), построены области динамической устойчивости ПВО, определяющие ее устойчивое положение. Значения основных параметров ПВО, прошедших оптимизацию, находятся в областях устойчивости опоры.

Работоспособность любой системы автоматического регулирования обусловлена одной из основных ее динамических характеристик. Автоматические системы виброизоляции должны быть динамически устойчивы в определенной области параметров системы. Этот вопрос является актуальным в особенности для виброизолирующих систем, поскольку известна их склонность к самовозбуждению [1].

Исследуем устойчивость движения ПВО [2] в первом приближении в соответствии с теоремой А.М. Ляпунова [3].

Полная картина устойчивости получается при построении областей динамической устойчивости виброизолирующей системы. Такие области могут быть построены в плоскости двух параметров в виде семейства кривых для различных значений третьего параметра. Полученное решение, если оно существует, будет давать нулевые значения корня характеристического уравнения при любых численных значениях параметров системы [3].

Выбирая один из параметров в качестве аргумента, можно построить график зависимости любого другого параметра. Линия на графике покажет границу динамической устойчивости системы. На устойчивой части графика сочетание параметров таково, что любое возмущение будет затухать во времени и приближаться к равновесному положению, на неустойчивой части возмущение будет развиваться до некоторого уровня.

Характеристическое уравнение, соответствующее уравнению колебаний ПВО имеет вид

$$\lambda^3 + \frac{C_1 + C_2}{k} \lambda^2 + \frac{C_1}{km} \lambda + \frac{C_1 \cdot C_2}{km} = 0. \quad (1)$$

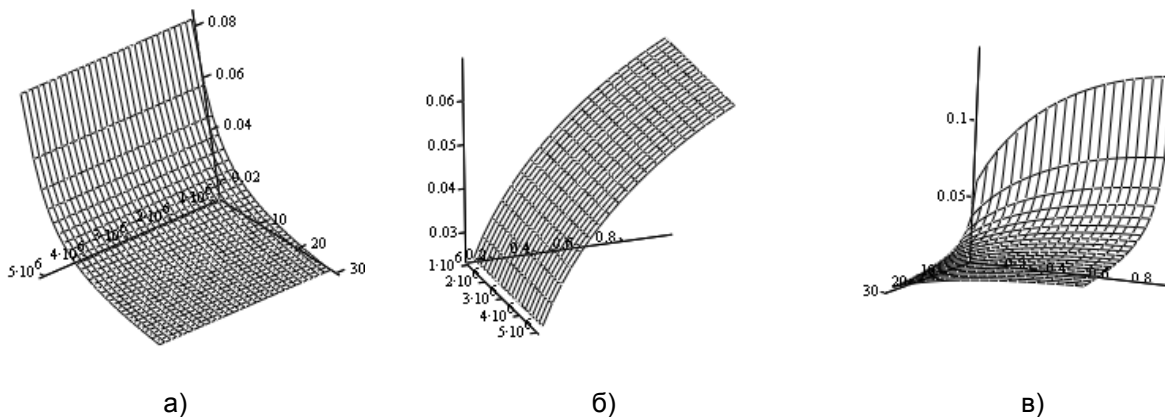


Рисунок 1 – Области устойчивости для коэффициента демпфирования ПВО: а)-при $m = 0,5$ кг; б)-при $C_2 = 18,32$ Н/м; в)-при $C_1 = 2,5 \cdot 10^6$ Н/м

Решение этого уравнения найдено по формулам Кардано и построены области динамической устойчивости ПВО. Исследования полученного вида корней характеристического

уравнения (1) позволяют сделать вывод, что наибольшее влияние на найденные значения оказывают четыре параметра: коэффициенты жесткости газовой составляющей C_1 и гидравлической составляющей C_2 ПВО; масса колеблющейся части опоры и коэффициент динамической вязкости рабочей жидкости. Рассмотрим влияние этих параметров на динамическую устойчивость ПВО.

Области устойчивости для коэффициента демпфирования, изображенные на рисунке 1, могут быть использованы для выбора основных параметров ПВО.

Области устойчивости для массы колеблющейся части опоры, показаны на рисунке 2.

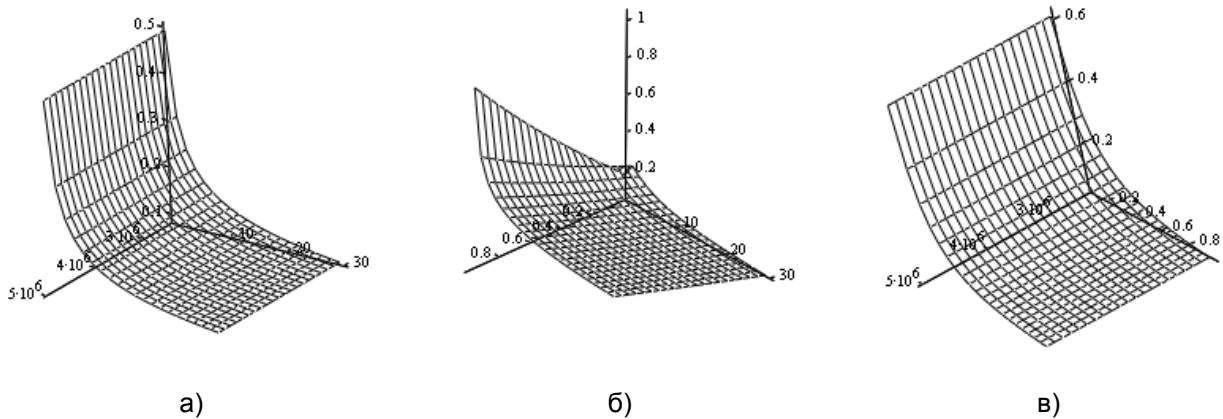


Рисунок 2 – Области устойчивости для массы колеблющейся части ПВО: а)-при $a = 0,12$; б)-при $C_1 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$; в)-при $C_2 = 18,32 \text{ Н/м}$

Области устойчивости для коэффициента жесткости газовой составляющей опоры C_1 , показаны на рисунке 3.

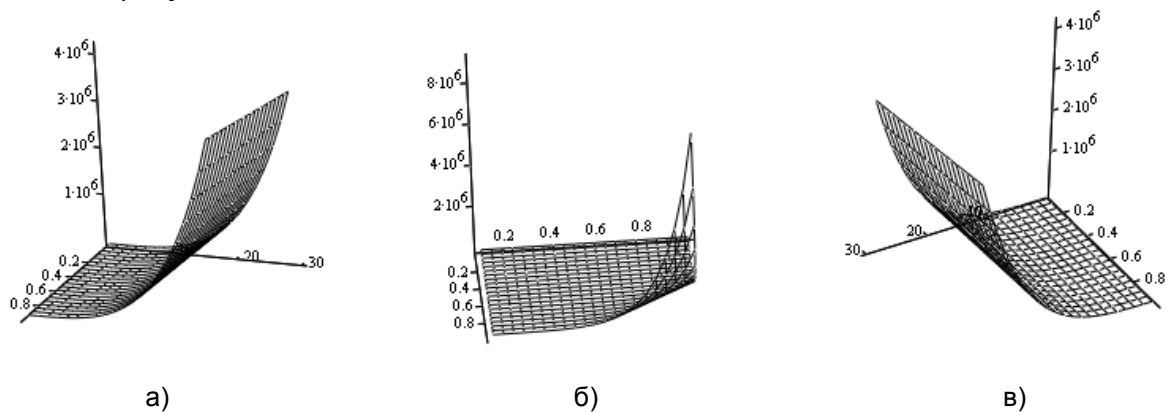


Рисунок 3 – Области устойчивости для коэффициента жесткости газовой составляющей ПВО: а)-при $m = 0,5 \text{ кг}$; б)-при $C_2 = 18,32 \text{ Н/м}$; в)-при $a = 0,12$

Области устойчивости для коэффициента жесткости гидравлической составляющей опоры C_2 показаны на рисунке 4.

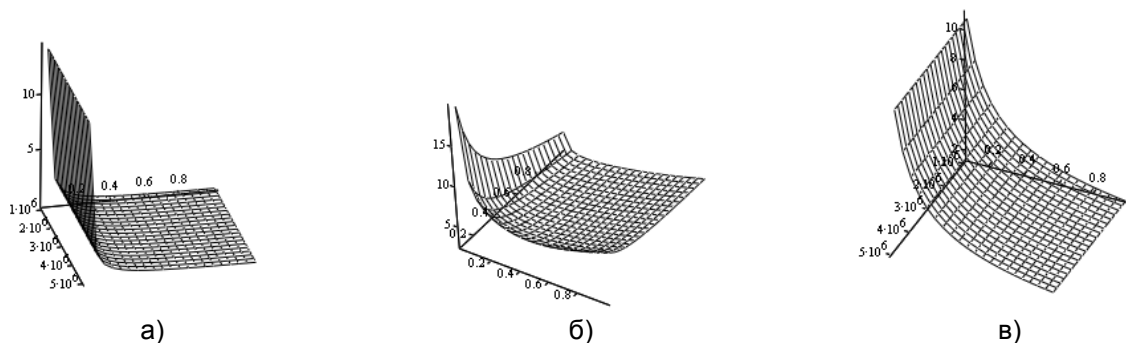


Рисунок 4 – Области устойчивости для коэффициента жесткости гидравлической составляющей ПВО: а)-при $m = 0,5 \text{ кг}$; б)-при $C_1 = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Н/м}$; в)-при $C_2 = 18,32 \text{ Н/м}$

Таким образом, построенные области динамической устойчивости ПВО определяют ее устойчивое положение при определенных значениях ее основных параметров и используются для выбора этих параметров. Следует отметить, что значения основных параметров ПВО, прошедших оптимизацию, находятся в областях устойчивости опоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вибрации в технике. В 6 т. Т. 6. Защита от вибраций и ударов / под ред. К.В. Фролова. -М.: Машиностроение, 1981. -456 с.
- 2 Фомичев, П.А. Виброизолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
- 3 Ионов, А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах / А.В. Ионов. -СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2000. -348 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *виброизоляция судовых энергетических установок*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ПАРАМЕТРЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»
ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»
Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, А.П. Ильин, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова

PARAMETERS OF THERMAL SAFETY OF NANOPOWDERS OF THE METALS APPLIED TO MODIFICATION OF PROPERTIES OF OIL PRODUCTS

Siberian research institute of metrology
National research Tomsk polytechnic university
Krylov shipbuilding research institute
Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport
G.V. Shuvalov, A.P. Ilyin, V.N. Polovinkin, I.V. Klekovkin, O.A. Yasyrova

In article questions of an assessment of parameters of thermal safety of nanopowders of metals which can be used for modification of properties fuel- lubricants are considered.

Keywords: fuel-lubricants, nanopowders of metals, thermal safety

Рассмотрены вопросы оценки параметров термической безопасности нанопорошков металлов, которые могут использоваться для модификации свойств топливо-смазочных материалов.

Использование нанопорошков металлов (НП) в различных отраслях промышленности может привести к существенному улучшению характеристик продукции и материалов, значительному росту ее качества и повышению производительности технологических процессов. Это связано с тем, что малый размер частиц НП (10-100 нм) обуславливает их особые электрические, теплофизические, магнитные и другие свойства, благодаря которым НП находят все большее применение при производстве керамических и композиционных материалов, добавок и присадок к топливо-смазочным материалам и т.д. На сегодняшний день существует достаточно большое количество технологий получения нанопорошков. Одним из наиболее перспективных методов получения НП является электрический взрыв проводников, под которым понимается резкое изменение физического состояния металлического проводника (проволочки) в результате интенсивного выделения в нем энергии при пропускании импульсного тока большой плотности ($j \geq 106 \text{ A/cm}^2$) [1]. При электрическом взрыве материал проводника находится в неравновесных условиях, связанных с его быстрым нагревом и охлаждением продуктов диспергирования, с воздействием электрического и магнитного полей, интенсивным тепло- и массопереносом, ионизацией и диффузией. Благодаря этим процессам электровзрывные нанопорошки обладают рядом особых свойств в сравнении с НП, полученными другими технологиями. Во-первых, они имеют сферическую форму частиц, устойчивы к окислению и спеканию при комнатной температуре, во-вторых, их

характеризует высокая диффузионная активность при нагревании, связанная с особыми теплофизическими и термохимическими свойствами. Для модификации состава нанопорошка диспергирования проводника осуществляют в химически активной среде, в этом случае продукты диспергирования проводника вступают в химическое взаимодействие со средой при их разлете и охлаждении [2, 3].

В последнее время проводятся работы по использованию металлических порошков в технических устройствах для снижения внутренних механических потерь и скорости износа сопряженных деталей, понижения температуры смазочного масла, что продлевает сроки службы смазочного масла и, как следствие, повышает срок службы машин и механизмов [4, 5]. Известны смазочные материалы, содержащие в своем составе частицы металлов бронзы – сплава меди и олова (реметаллизанты). Медь, как правило, в чистом виде не используется, так как является катализатором окисления масла. Наиболее известные представители этой группы смазочных составов – «RESURS» производства России (г. Санкт-Петербург), «ENGINE RESTORER» производства США, «Metall 5» производства Франции. Эти составы содержат микронные порошки в жидких маслах.

Как и у любого смазочного материала эффективность реметаллизантов зависит от размера частиц. Чем меньше размер – тем активнее частица. Механизм действия заключается в уплотнении зазоров в цилиндро-поршневой группе и, как следствие, росту КПД работы двигателя. В этой связи возрастает интерес к использованию в реметаллизантах нанопорошков металлов. Использование нанодисперсных порошков – это новые технологии в повышении износостойкости машин и механизмов и экономии горюче-смазочных материалов.

Нанопорошки металлов, как и все нанопорошковые материалы, обладают высокой реакционной способностью. Поэтому при их хранении, транспортировании и при переработке необходимо снижать и контролировать способность нанопорошков к спеканию, самоспеканию и к взаимодействию с различными компонентами и реагентами. В этой связи актуальны работы по определению термической безопасности нанопорошков металлов, в основе которых лежат параметры термохимической активности, которые позволяют сравнивать по химической активности нанопорошки разных по природе металлов [6-8].

К этим параметрам относятся: тепловой эффект реакций, температура начала окисления, степень окисленности, тепловой поток при горении нанопорошков металлов. Последние параметры будут определять термическую безопасность наноматериалов – то есть опасность соприкосновения незащищенных частей тела человека от воздействия высоких температур при изготовлении, применении, транспортировке и хранении нанопорошков металлов.

Для тестирования устойчивости нанопорошков и их смесей к окислению и к химическому взаимодействию был использован дифференциальный термический анализ (ДТА). Метод ДТА основан на сравнении термических свойств образца исследуемого вещества и инертного эталона. Регистрируемым параметром является разность температур вещества и эталона, измеряемая при нагревании или охлаждении образца с постоянной скоростью. На основе данных ДТА определяют четыре параметра химической активности исходных НП и их смесей:

- температуру начала окисления $T_{н.о}$, °С;
- степень окисленности α , %;
- максимальную скорость окисления V_{max} , % мас./с;
- удельный тепловой эффект $\Delta H/\Delta m$, отн. ед.

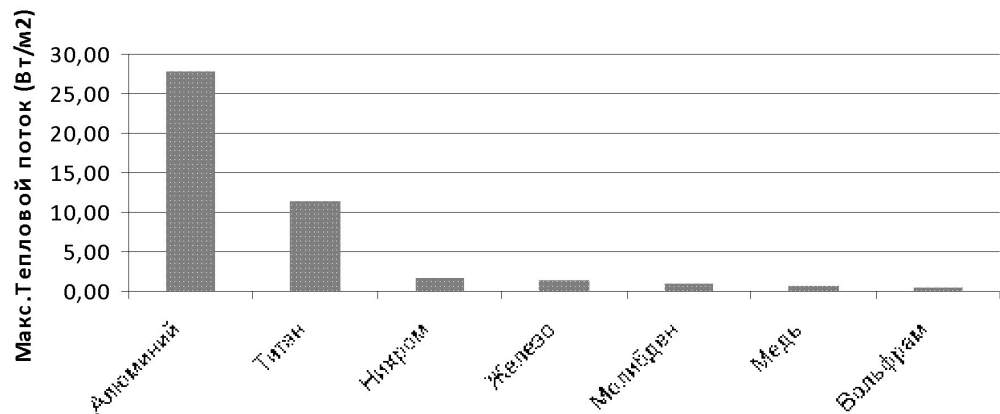


Рисунок – Максимальный тепловой поток при горении различных нанопорошков металлов

Регистрируемым параметром является разность температур вещества и эталона, измеряемая при нагревании или охлаждении образца с постоянной скоростью. На основе данных ДТА определяют четыре параметра химической активности исходных НП и их смесей:

Для определения плотности теплового потока при горении различных нанопорошков металлов измеряли тепловой поток от пробы нанопорошка в одинаковых условиях.

На рисунке приведены данные по максимальному тепловому потоку при горении различных нанопорошков металлов.

Учитывая термохимические параметры нанопорошков металлов и их излучательные энергетические характеристики в виде плотности теплового потока можно построить шкалу термической безопасности нанопорошков металлов.

Расчет термической безопасности нанопорошков металлов можно провести по формуле, учитывающей все термохимические параметры нанопорошков металлов

$$P = 0,25 \cdot \left(\frac{\Delta H_i}{\Delta H_{\max}} + \frac{T_i}{T_{\max}} + \frac{\alpha_{\max}}{\alpha_i} + \frac{P_i}{P_{\max}} \right)$$

В таблице приведены термохимические параметры исследованных нанопорошков металлов.

Таблица – Термохимические параметры нанопорошков металлов

| Нанопорошок | ΔH , кДж/г | $T_{н.о}$, °С | α , % | Максимальный тепловой поток, Вт/м ² | Термическая опасность, P | Шкала термической опасности |
|-------------|--------------------|----------------|--------------|--|----------------------------|--------------------------------|
| Алюминий | 31,0 | 420 | 97,8 | 22,6 | 0,96 | Высокая ($P = 0,60-1,00$) |
| Титан | 19,6 | 120 | 98,8 | 26,3 | 0,72 | |
| Молибден | 7,9 | 175 | 96,5 | 4,5 | 0,46 | |
| Железо | 7,3 | 160 | 93,2 | 4,6 | 0,46 | Средняя ($P = 0,45-0,60$) |
| Никель | 5,2 | 165 | 91,4 | 4,8 | 0,45 | |
| Нихром | 5,2 | 165 | 91,9 | 4,8 | 0,45 | |
| Медь | 2,4 | 165 | 89,3 | 2 | 0,41 | Низкая ($P \leq 0,45$) |
| Вольфрам | 4,5 | 110 | 98,7 | 6 | 0,41 | |

Из таблицы видно, что наибольшей степенью термической опасности обладают нанопорошки алюминия и титана

Таким образом, в результате проведенных исследований были определены термохимические параметры нанопорошков различных металлов и параметры их термической опасности, которые необходимо учитывать при разработке металлоплакирующих смазочных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ильин, А.П. Применение электровзрывных ультрадисперсных порошков в качестве добавок к маслам / А.П. Ильин, Ю.А. Краснятов, С.А. Ларионов // Получение, свойства и применение энергонасыщенных порошков металлов и их соединений: тез. докл. Рос. конф. / НИИ ВН при ТПУ. -Томск, 1993. -С. 83.
- 2 Назаренко, О.Б. Особенности формирования продуктов электрического взрыва проводников в конденсированных средах: дис. ... канд. техн. наук / О.Б. Назаренко. -Томск, 1996. -129 с.
- 3 Ильин, А.П. Модифицирование минеральных масел электрическим взрывом проводников / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко // Высоковольтные техника и электротехнология: межвуз. сб. науч. тр. -Иваново, 1997. -Вып.1. -С. 71-73.
- 4 Пат. №1730842. Смазочный состав / Ильин А.П., Краснятов Ю.А., Елизаров А.В., Чернов М.Г. -Приоритет 14.02.90.
- 5 Пат. №2132363. Металлоплакирующий смазочный состав / Ильин А.П., Петрунин В.Ф. -Приоритет 24.04.97.
- 6 Ильин, А.П. Динамические эффекты в процессе трения при плакировании ультрадисперсными порошками / А.П. Ильин, Г.А. Медведев, В.Ф. Петрунин // Физикохимия ультрадисперсных (нано-) систем: тез. докл. VI Всерос. конф. / МИФИ. -М., 2002. -С. 397.
- 7 Ильин, А.П. Влияние суспензии «моторное масло+смесь нанопорошков меди и никеля» на трибологические свойства пары трения «углеродистая сталь-низколегированная сталь» / А.П. Ильин, О.Б. Назаренко, С.В. Рихерт // Изв. ТПУ. 2004. -Т.307, №3. -С. 77-79.
- 8 Ильин, А.П. Об активности порошков алюминия / А.П. Ильин, Г.В. Яблуневский, А.А. Громов //Физика горения и взрыва. -2001. -Т.37, №4. -С. 58-62.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: топливо-смазочные материалы, нанопорошки металлов, термическая безопасность
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора ФГУП «СНИИМ»
 Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»
 Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»
 Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»
 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»
 644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНОГО УРОВНЕМЕРА УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»

Г.В. Шувалов, А.А. Мамонов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин

RESEARCH OF PARAMETERS OF THE CAPACITOR LEVEL GAUGE OF INSTALLATION FOR DETERMINATION OF TEMPERATURE COEFFICIENT OF THE NEFTPRODUKTOVOV VOLUME EXPANSION

Siberian research institute of metrology

Krylov shipbuilding research institute

G.V. Shuvalov, A.A. Mamonov, V.N. Polovinkin, I.V. Klekovkin

In article questions of a pilot study of parameters of the capacitor level gage of installation of measurement of temperature coefficient of volume expansion of oil products for metrological ensuring measurement of their quantitative account are considered.

Keywords: oil products, coefficient of volume expansion, measurement

Рассмотрены вопросы экспериментального исследования параметров емкостного уровнемера установки измерения температурного коэффициента объемного расширения нефтепродуктов для метрологического обеспечения измерения их количественного учета.

Определение температурного коэффициента объемного расширения нефти и нефтепродуктов в условиях низких температур является весьма актуальным при создании метрологического обеспечения учета количества нефтепродуктов. Был предложен метод определения температурного коэффициента объемного расширения нефтепродуктов β с помощью емкостного низкотемпературного уровнемера, когда объем расширенного нефтепродукта определяется путем измерения электрической емкости конденсатора [1].

Ранее в [1] было показано, что рабочая формула для расчетов β будет иметь вид

$$\beta = K \frac{1}{\Delta T} K_2 = K \frac{1}{\Delta T} \cdot \frac{C_2 - C_1}{\varepsilon_{отн} - 1}, \quad (1)$$

где K – нормируемый коэффициент.

Конструкция уровнемера (первичного преобразователя) выполняет функцию определения высоты подъема диэлектрической восприимчивости вытесняемой жидкости через косвенные измерения электрической емкости уровнемера при различных схемах его подключения к измерителю емкости.

Рассмотрим третий сомножитель уравнения измерения (1)

$$K_2 = \frac{C_2 - C_1}{\varepsilon_{отн} - 1}, \quad (2)$$

где C_1 – начальное значение электрической емкости уровнемера;

C_2 – значение электрической емкости после нагрева;

$\varepsilon_{отн}$ – относительная диэлектрическая проницаемость измеряемого нефтепродукта.

Поскольку выражение $\varepsilon_{отн} - 1$ является ничем иным как диэлектрической восприимчивостью γ , то преобразуем его, до следующего вида

$$\varepsilon_{отн} - 1 = \gamma = \frac{C^\varepsilon - C_0}{C_0}. \quad (3)$$

Обозначим основную (суммарную емкость) пустого уровнемера до обнуления потенциала части уровнемера, используемой для определения ε как C_1^0 , тогда C_0 в выражении (3) будет иметь вид

$$C_0 = C_1 - C_1^0.$$

При заполнении уровнемера нефтепродуктом изменится как его основная емкость до значения C_2 , так и та часть, которая используется для определения ε .

Это изменение, по аналогии с вышесказанным, выразится как

$$C^\varepsilon = C_2 - C_2^0,$$

а выражение для диэлектрической восприимчивости будет иметь вид

$$\gamma = \frac{(C_2 - C_1) - (C_2^0 - C_1^0)}{C_1 - C_1^0} \quad (4)$$

Таким образом, сомножитель уравнения (1) будет содержать только значения емкостей первичного преобразователя при различных схемах его подключения к измерителю емкости, соответствующих различным температурам нефтепродукта

$$\beta = \frac{(C_2 - C_1)(C_1 - C_1^0)}{(C_2 - C_1) - (C_2^0 - C_1^0)} \quad (5)$$

Следовательно, для определения β в каждом интервале температурной шкалы необходимо знать четыре значения электрической емкости первичного преобразователя уровня: C_1, C_2, C_1^0, C_2^0 соответствующих различным состояниям уровня. Поскольку в выражении (5) используются исключительно разности емкостей, примерно на порядок меньшие, чем сами емкости,

Таблица 1 – Определение стабильности показаний измерителя емкости P5083 (при частоте 1000 Гц и температуре 19 °С)

| № измерения | $C_{i, \text{pF}}$ | $C_{\text{среднее, pF}}$ | $(C_i - C_{cp})^2 \times 10^5$ | $\sum_{i=1}^n (C_i - C_{cp})^2$ |
|-------------|--------------------|--------------------------|--------------------------------|---------------------------------|
| 1 | 100,041 | 100,045 | 1,6 | $3,97 \cdot 10^{-4}$ |
| 2 | 100,041 | | 1,6 | |
| 3 | 100,059 | | 19,6 | |
| 4 | 100,055 | | 10,0 | |
| 5 | 100,041 | | 1,6 | |
| 6 | 100,041 | | 1,6 | |
| 7 | 100,041 | | 1,6 | |
| 8 | 100,046 | | 0,1 | |
| 9 | 100,041 | | 1,6 | |
| 10 | 100,043 | | 0,4 | |

то к измерителю емкости предъявляются довольно высокие требования к точности и стабильности показаний. В наших исследованиях использовались самые точные автоматические цифровые измерители P5083 и МНС-1100 класса 0,01-0,02%. В таблице 1 представлены результаты исследований стабильности показаний измерителя емкости P5083 в течение 8 ч, при стабильности температуры в помещении $\Delta T = \pm 2$ °С и измерение рабочего эталона емкости P597 с номинальной емкостью, примерно равной начальному значению уровня, то есть $C_{ном} \approx 100$ пФ.

Оценим стандартную неопределенность приведенного ряда измерений U_A по типу А, выраженную в абсолютных единицах

$$U_A = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (C_j - C_{cp})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{3,97 \cdot 10^{-4}}{90}} = 2,1 \cdot 10^{-3} \text{ пФ,}$$

что составляет относительную стандартную неопределенность

$$U'_A = \frac{U_A}{C_{cp}} = \frac{2,1 \cdot 10^{-3}}{100,045} = 2,1 \cdot 10^{-5}.$$

Кроме измерителя емкостей достаточно заметный вклад в общую стандартную неопределенность $\sum U_A$ в целом, вносят коммутируемые и сменные элементы уровня (внутренние электроды).

Как указывалось ранее [2], с целью оптимального выбора пары D/d , были изготовлены четыре сменных внутренних электрода d для работы с одним внешним электродом D .

Результаты исследований случайных погрешностей, возникающих при смене электродов и коммутации (при обнулении потенциала вспомогательного внешнего электрода), приведены в таблицах 2-5.

Для системы электродов (таблица 2) U_A , выраженная в абсолютных единицах, равна $6,6 \cdot 10^{-3}$ пФ, что составляет относительную стандартную неопределенность

$$U_A^{T9} = \frac{6,6 \cdot 10^{-3}}{16,237} = 4 \cdot 10^{-4}.$$

Для системы электродов (таблица 3) U_A , выраженная в абсолютных единицах, равна $1,9 \cdot 10^{-3}$ пФ, что составляет относительную стандартную неопределенность

ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА

$$U_A^{T10} = \frac{1,9 \cdot 10^{-3}}{7,9} = 2,5 \cdot 10^{-4}.$$

Таблица 2 – Результаты исследований случайных погрешностей (электроды 24/23 «латунь-латунь»)

| № измерения | C_1 , пФ | C_1^0 , пФ | $\Delta_i = C_1 - C_1^0$, пФ | Δ_{cp} , пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp}) \times 10^3$, пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² | $\sum_{n=1}^n (\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------|---|--|---|
| 1 | 181,765 | 165,533 | 16,232 | 16,237 | -5 | 25 | 1292 |
| 2 | 181,675 | 165,465 | 16,210 | | -27 | 729 | |
| 3 | 181,833 | 165,603 | 16,230 | | -7 | 49 | |
| 4 | 181,853 | 165,608 | 16,245 | | -8 | 64 | |
| 5 | 181,878 | 165,620 | 16,258 | | -19 | 361 | |
| 6 | 181,850 | 165,605 | 16,245 | | -8 | 64 | |

Таблица 3 – Результаты исследований случайных погрешностей (электроды 24/22 «латунь-латунь»)

| № измерения | C_1 , пФ | C_1^0 , пФ | $\Delta_i = C_1 - C_1^0$, пФ | Δ_{cp} , пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp}) \times 10^3$, пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² | $\sum_{n=1}^n (\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------|---|--|---|
| 1 | 92,891 | 85,008 | 7,883 | 7,88983 | -6,833 | 46,6800 | 112,8 |
| 2 | 92,888 | 85,001 | 7,887 | | -2,833 | 8,0275 | |
| 3 | 92,917 | 85,026 | 7,891 | | -1,1667 | 1,3600 | |
| 4 | 92,905 | 85,013 | 7,892 | | -2,1667 | 4,6946 | |
| 5 | 92,944 | 85,055 | 7,889 | | -8,333 | 0,6944 | |
| 6 | 92,983 | 85,086 | 7,897 | | -7,167 | 51,360 | |

Таблица 4 – Результаты исследований случайных погрешностей (электроды 24/22 «латунь-дюраль»)

| № измерения | C_1 , пФ | C_1^0 , пФ | $\Delta_i = C_1 - C_1^0$, пФ | Δ_{cp} , пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp}) \times 10^3$, пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² | $\sum_{n=1}^n (\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------|---|--|---|
| 1 | 93,052 | 85,153 | 7,899 | 7,9025 | -3,5 | 12,25 | 43,5 |
| 2 | 93,053 | 85,154 | 7,899 | | -3,5 | 12,25 | |
| 3 | 93,095 | 85,190 | 7,905 | | -2,5 | 6,25 | |
| 4 | 93,102 | 85,196 | 7,906 | | -3,5 | 12,25 | |
| 5 | 93,110 | 85,207 | 7,903 | | -50 | 0,25 | |
| 6 | 93,108 | 85,205 | 7,903 | | -50 | 0,25 | |

Таблица 5 – Результаты исследований случайных погрешностей (электроды 24/19,2 «латунь-дюраль»)

| № измерения | C_1 , пФ | C_1^0 , пФ | $\Delta_i = C_1 - C_1^0$, пФ | Δ_{cp} , пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp}) \times 10^3$, пФ | $(\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² | $\sum_{n=1}^n (\Delta_i - \Delta_{cp})^2 \times 10^6$, пФ ² |
|-------------|------------|--------------|-------------------------------|--------------------|---|--|---|
| 1 | 40,210 | 37,140 | 3,070 | 3,071 | -1 | 1 | 10 |
| 2 | 40,171 | 37,102 | 3,069 | | -2 | 4 | |
| 3 | 40,209 | 37,138 | 3,071 | | 0 | | |
| 4 | 40,221 | 37,150 | 3,071 | | 0 | | |
| 5 | 40,221 | 37,149 | 3,072 | | -1 | 1 | |
| 6 | 40,167 | 37,094 | 3,073 | | -2 | 4 | |

Для системы электродов (таблица 4) U_A , выраженная в абсолютных единицах, равна $1,2 \cdot 10^{-3}$ пФ, что составляет относительную стандартную неопределенность

$$U_A^{T11} = \frac{1,16 \cdot 10^{-3}}{7,9} = 1,5 \cdot 10^{-4}.$$

Для системы электродов (таблица 5) U_A , выраженная в абсолютных единицах, равна $5,7 \cdot 10^{-4}$ пФ, что составляет относительную стандартную неопределенность

$$U_A^{T12} = \frac{5,7 \cdot 10^{-4}}{3,1} = 1,9 \cdot 10^{-4}.$$

Приведенные в таблицах 2-5 результаты исследований различных комбинаций рабочих пар электродов свидетельствуют, что наименьшая относительная неопределенность U_A у пары с диаметрами 24/22, выполненной из разнородных материалов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Шувалов, Г.В. Образцовые средства измерений коэффициента объемного расширения и плотности нефтепродуктов / Г.В. Шувалов, А.А. Мамонов, О.А. Ясырова // Датчики и системы. -2012. -№6. -С. 27-29.
 2 Разработка приборов для определения коэффициента объемного расширения и плотности нефтепродуктов / Г.В. Шувалов, А.А. Мамонов, Ю.А. Гапонов, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова // Актуал. проблемы электрон. приборостроения (АПЭП-2012): материалы 11 междунар. конф., 2-4 окт. 2012. -Новосибирск, 2012. -Т.3. -С. 13-15.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, коэффициент объемного расширения, измерения
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора ФГУП «СНИИМ»
 Мамонов Анатолий Алексеевич, начальник сектора ФГУП «СНИИМ»
 Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»
 Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»
 196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»

ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
 ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»
 Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, О.А. Ясырова

THE DEVICE FOR DETERMINATION OF TEMPERATURE OF FLASH OF OIL PRODUCTS

Siberian research institute of metrology
 Krylov shipbuilding research institute
 Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport
 G.V. Shuvalov, V.N. Polovinkin, I.V. Klekovkin, O.A. Yasyrova

Results of works on device creation are given in article for determination of temperature of flash of oil products, its description and technical characteristics.

Keywords: oil products, flash temperature, device

Приведены результаты работ по созданию прибора для определения температуры вспышки нефтепродуктов, его описание и технические характеристики.

Одним из основных показателей качества нефтепродуктов является значение температуры вспышки. Технический регламент «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту» предъявляет обязательные требования к качеству отечественных судовых топлив в виде двух показателей: содержание серы и температура вспышки. Содержание серы характеризует экологические показатели топлива, а температура вспышки определяет теплофизические свойства нефтепродуктов и характеризует их способность к воспламенению при нагреве, а также их пожароопасные свойства.

Нормативная база, регламентирующая вопросы метрологического обеспечения учета нефтепродуктов, в основном сложилась в 70-80 годах прошлого века и морально устарела, в связи с чем в

Таблица 1 – Показатели точности измерения температуры вспышки

| Температура вспышки | Сходимость | Воспроизводимость |
|---------------------|------------|-------------------|
| До 104 °С | 2 | 4 |
| Свыше 104 °С | 5 | 8 |

настоящее время она активно обновляется. Принципиально она может быть существенно модернизирована только с принятием проекта Технического регламента «О требованиях к средствам измерений показателей нефти и нефтепродуктов», устанавливающего метроло-

гические и технические требования к средствам и методам измерений показателей нефтепродуктов. Показатели точности измерений температуры вспышки в топливе согласно Технического регламента не должна превышать значений, указанных в таблице 1.

В связи с важностью показателя температура вспышки для его практического определения существует ряд приборов отечественного и зарубежного производства. Данные о некоторых приборах для определения температуры вспышки нефтепродуктов приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Российские приборы для определения температуры вспышки нефтепродуктов

| Название прибора | ГОСТ | Примечание |
|----------------------|----------------|---|
| 1 Анализатор АК-5Д | 6356-75 | определение температуры вспышки до 300 °С |
| 2 Аппарат ТВЗ-ЛТ | 6356-75 | температура вспышки 30-360 °С |
| 3 Аппарат ТВЗ-1М | 6356-75 | диапазон рабочих температур 30-360 °С |
| 4 Аппарат ТВЗ-ЛАБ-01 | 6356-75 | диапазон рабочих температур 35-350 °С |
| 5 Анализатор СИМ-5Д | 6356-75 | определение температуры вспышки до 300 °С |
| 6 Прибор ВСПЫШКА-А | 4333 и 6356-75 | температур вспышки в закрытом тигле 30-260 °С |

Анализ технических характеристик и конструктивного исполнения приборов для определения температуры вспышки показывает, что в настоящее время нет единых принципов их конструирования. Это связано с отсутствием методологии расчета приборов для определения температуры вспышки [1].

В этой связи при проведении испытаний по определению температуры вспышки нефтепродуктов возникла необходимость установить стабильность определения этого показателя в зависимости от числа испытаний, проводимом на одном и том же образце. Для этого проводили многократные измерения по определению температуры вспышки трансформаторного масла и динамики его испарения в зависимости от количества измерений. Нагрев нефтепродукта осуществлялся со скоростью (6-8) °С/мин. при подводимом напряжении на тигле – 150 В.

Результаты этих экспериментов представлены в таблице 3.

Из таблицы видно, что температура вспышки трансформаторного масла при проведении 10 последовательных испытаний на одной и той же пробе незначительно меняется (в пределах 2-3 °С). Это означает, что двухкратное испытание, необходимое для получения результата измерения температуры вспышки, можно проводить на одной пробе. Это особенно актуально в условиях, когда имеется незначительное количество нефтепродукта при проведении измерений.

Кроме того, ранее [2] было показано, что уменьшение объема моторного масла и площади поверхности испарения при испытаниях не влияет на значения температуры вспышки

С учетом данных этих исследований разработана конструкция прибора для определения температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5 [3]. Прибор предназначен для определения температуры вспышки дизельного топлива, моторных и автотракторных масел экспресс-методом и может применяться при оперативном контроле их качества.

Технические характеристики прибора:

- Диапазон измерений температуры вспышки дизельного топлива анализатором СИМ-5Д 17-350 °С;
- Предел допускаемой абсолютной погрешности измерения температуры вспышки ±5 °С;
- Время измерения температуры вспышки образца не более 1 ч;

Таблица 3 – Температура вспышки трансформаторного масла и динамики его испарения в зависимости от количества измерений

| Номер измерения | $T_{всп1}, ^\circ\text{C}$ | $T_{всп2}, ^\circ\text{C}$ | $T_{вспср}, ^\circ\text{C}$ | $L^*, \text{мм}$ |
|-----------------|----------------------------|----------------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | 153,1 | 154 | 153,5 | 22,3 |
| 2 | 153,8 | 154,4 | 154,1 | 22,6 |
| 3 | 153,5 | 154,5 | 154 | 22,8 |
| 4 | 154,3 | 155 | 154,6 | 23,0 |
| 5 | 154,9 | 155,7 | 155,3 | 23,1 |
| 6 | 156,1 | 156,8 | 156,4 | 23,2 |
| 7 | 156,4 | 157,3 | 156,8 | 23,3 |
| 8 | 155,5 | 156,8 | 156,1 | 23,4 |
| 9 | 155,7 | 156,8 | 156,2 | 23,5 |
| 10 | 154,9 | 156 | 155,4 | 23,6 |

*-расстояние от верхнего края тигля до нефтепродукта, перед началом испытания, $L = 22,3 \pm 0,1 \text{ мм}$

- Габаритные размеры, не более280×160×240 мм;
- Масса анализатора не более 6,5 кг.

Принцип действия анализатора основан на нагревании контролируемого нефтепродукта электронагревателем, периодическом поджигании паров нефтепродукта и измерение температуры, при которой происходит вспышка.

Функциональная схема анализатора приведена на рисунке 2.

В состав функциональной схемы входят нагревательный блок 1, блок электроники и управления 2.

Сверху в нагревательный блок вставляется тигель с испытываемым ГСМ. Нагрев жидкости в тигле осуществляется с помощью электронагревателя (Эл.Н). Для поджига паров нефтепродукта служит газовая горелка с регулятором расхода газа, газ в которую поступает из газового баллона (Г.Б.). Температура образца испытуемого ГСМ снимается измерительной термопарой (ДТ) и отображается на цифровом индикаторе (ТРМ).



Рисунок 1 – Анализатор определения температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5

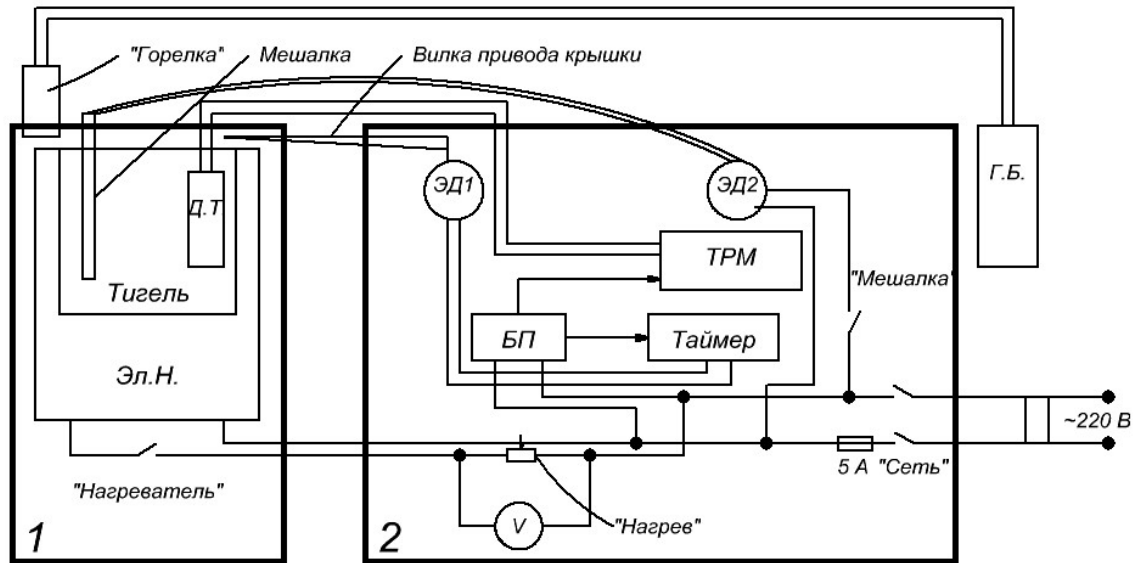


Рисунок 2 – Схема электрическая функциональная

Управление перемещением поворотного устройства с газовой горелкой над тиглем осуществляется с помощью таймера и электродвигателя (ЭД1), вращающего вилку привода крышки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Экономия горючесмазочных материалов при работе двигателей внутреннего сгорания / А.В. Бондарев [и др.] // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -Вып. VI. -С. 49-52.
- 2 Анализатор температуры вспышки нефтепродуктов / М.А. Мишагин [и др.] // 2-я международная научно-техническая конференция «Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт», 8-11 сентября 2004 г. / под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека, В.В. Охотниковой / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Тобольск, 2004. -Ч.2. -С. 153-155.
- 3 Приборы экспресс-анализа диэлектрических жидкостей / В.П. Горелов [и др.] // Физика. -2004. -Т.47, №11. -С. 200-202.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, температура вспышки, прибор
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора ФГУП «СНИИМ»

Половинкин Валерий Николаевич, докт. техн. наук, референт директора ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»

Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»
Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н.Крылова»

644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»

АППРОКСИМАЦИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БАЛКИ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ С ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО НЕЙ МАССОЙ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

С.П. Глушков, Н.А. Донец, В.А. Каргин

APPROXIMATION OF NATURAL OSCILLATIONS OF BEAMS USING A POLYNOMIAL FUNCTION MODELING THE INTERACTION OF DAMAGED BEAM WITH A MOVING MASS ON IT

Siberian state transport university
Novosibirsk state academy of water transport
S.P. Glushkov, N.A. Donets, V.A. Kargin

The problem of approximating polynomial functions vibrations damaged structure, using the finite element approach, and moving on her weight. It is shown that the relative error when compared with the known results obtained using analytical methods is negligible.

Keywords: modeling, beam, damage

Рассмотрен вопрос аппроксимации полиномиальными функциями формы колебаний конструкции с повреждениями, которая может быть с помощью конечно-элементного подхода, и движущейся по ней массой. Показано, что относительная ошибка при сравнении с известными результатами, полученными с помощью аналитических методов, незначительна.

Динамический анализ балочного пролетного строения моста с повреждениями может быть разделен на несколько частных видов:

- Анализ собственных форм колебаний без демпфирования;
- Линейный динамический анализ переходных процессов.

Вычисление собственных форм и частот колебаний необходимо для решения задачи методом разложения отклика по собственным формам. Переходный процесс – отклик конструкции на произвольное динамическое воздействие, когда колебания не являются установившимися и складываются из собственных колебаний конструкции с развивающимися вынужденными колебаниями. Анализ переходных процессов может быть выполнен с помощью метода разложения перемещений по собственным формам колебаний без демпфирования. Колебания системы вычисляется как суперпозиция некоторого количества вычисленных собственных форм с неизвестными коэффициентами – обобщенными перемещениями.

Необходимость использования аналитических моделей, описывающих колебание пролетного строения моста, диктуется тем, что это значительно сокращает время параметрических исследований. Расчет может начинаться сразу же после изменения какой-либо переменной, например, скорости движения экипажа по пролетному строению моста. Более детальный расчет на базе конечно-элементной модели может быть выполнен позже для подтверждения каких-либо данных или для получения более детальной картины поведения пролетного строения моста при движущемся по нему экипаже.

В 1984 году было положено начало разработкам теории колебаний линейно-протяженных конструкций с повреждениями [2]. Были рассмотрены вопросы записи дифференциальных уравнений движения и соответствующих граничных условий для балок Эйлера-Бернулли с одной или несколькими парами симметричных трещин. Эффект наличия трещины в балке достигается путем изменения параметров деформаций, напряжений, перемещений и моментов в дискретном элементе. В частности изменения напряжений, вызванные наличием трещины, описаны с помощью локальной функции для элемента, соот-

ветствующего поврежденному месту. Значение локальной функции в поврежденном элементе зависит от расстояния до трещины, а также от параметра, который оценивается с помощью экспериментов.

Результаты первых исследований в настоящее время используются для моделирования взаимодействия и вычисления откликов в системе «пролетное строения моста – движущийся экипаж». В работе представлена процедура для определения динамического коэффициента для поврежденной шарнирно-опертой балки Эйлера-Бернулли под действием движущейся по ней массы [1]. В качестве повреждения рассмотрена трещина, развитая в поперечном сечении снизу или сверху и одновременно сверху и снизу. Для вычисления податливости пружины, моделирующей наличие поврежденного элемента, используются методы механики разрушения.

Целью данной работы является исследование применимости численной аппроксимации собственных значений конструкции с помощью полиномиальных функций для использования в параметрических вычислениях отклика системы «поврежденное балочное пролетное строение – движущееся транспортное средство».

Для решения задачи о взаимодействии балки с повреждениями и движущегося по ней экипажа запишем уравнение движения системы «балка-движущаяся масса» следующим образом

$$\rho A \frac{\partial^2 w(x,t)}{\partial t^2} + c \frac{\partial w(x,t)}{\partial t} + EI(x) \frac{\partial^4 w(x,t)}{\partial x^4} = P_i(t) \delta[x - \xi(t)], \quad (1)$$

где ρA – масса единицы длины балки;

$EI(x)$ – изгибная жесткость балки;

$w(t)$ – функция вертикального перемещения балки;

c – демпфирование балки;

$\xi(t)$ – положение нагрузки $f(t)$ в момент времени t ;

$\delta[]$ – дельта-функция Дирака.

Представив балку длиной L как N сегментов, соединенных между собой вращательными пружинами (возможные места повреждений), податливость которых уменьшена на величину c_i , с линейной массой ρA , изгибной жесткостью $EI(x)$, которая соответствует бездефектному состоянию, и длиной l_i (рисунок 1), уравнение движения (1) для каждого i -го сегмента можно записать следующим образом

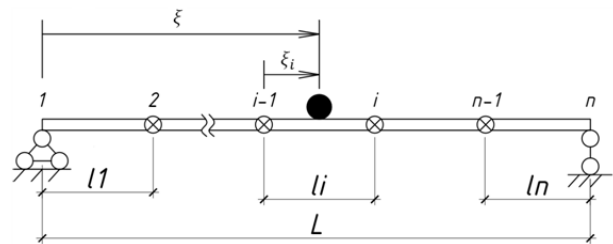


Рисунок 1 – Расчетная схема

$$\rho A \frac{\partial^2 w(x_i,t)}{\partial t^2} + c \frac{\partial w(x_i,t)}{\partial t} + EI \frac{\partial^4 w(x_i,t)}{\partial x^4} = P_i(t) W[\xi_i(t), 0, l_i] \delta[x_i - \xi_i(t)], \quad (2)$$

где $W[]$ – вырезающая функция,

ξ_i – положение подвижной нагрузки в момент времени t (в системе локальных координат), $0 < \xi_i < l_i$.

Вырезающая функция определяется следующим уравнением

$$W[\xi_i(t), 0, l_i] = H[\xi_i(t), 0] - H[\xi_i(t), l_i], \quad (3)$$

где $H[]$ – функция Хэвисайда.

Аналитического решения уравнения (2) нет. Приближенное решение может быть найдено путем разложения функции $w(t)$ на ряд функций в следующем виде

$$w(x,t) \cong w^{(n)}(x,t) = \sum_{r=1}^n \varphi_r(x) q_r(t), \quad (4)$$

где $q_r(t)$ – переменные, которые необходимо вычислить.

Наибольшая сложность на данном этапе заключается в адекватном вычислении частот и форм собственных колебаний конструкции с повреждениями. Известен подход, позволяющий с использованием матриц переноса [3] записать для i -го сегмента балки Эйлера-Бернулли зависимость между левой и правой частью. Граничные перемещения и силы могут

быть представлены в виде внутренних зависимостей с использованием элементов, описывающих упругое взаимодействие между сегментами, после чего сгруппированы в матричной форме. Детерминант матрицы будет являться собственными значениями и формами колебаний балки с повреждениями. Подобный подход предполагает использование специальных методов определения податливости пружин, например [4], соединяющих сегменты, что приводит к ограниченности данного подхода рамками лишь простейших конструкций.

Другим вариантом определения собственных значений конструкции является использование метода конечных элементов. Матрицы жесткости и массы сегмента с использованием вариационного метода могут быть записаны как следующим образом

$$M_e = \frac{\rho A l_i}{420} \begin{bmatrix} 156 & 22l_i & 54 & -13l_i \\ 22l_i & 4l_i^2 & 13l_i & -3l_i^2 \\ 54 & 13l_i & 156 & -22l_i \\ -13l_i & -3l_i^2 & -22l_i & 4l_i^2 \end{bmatrix}; \quad (5)$$

$$K_e = \frac{EI}{l_i^3} \begin{bmatrix} 12 & 6l_i & -12 & 6l_i \\ 6l_i & 4l_i^2 & -6l_i & 2l_i^2 \\ -12 & -6l_i & 12 & -6l_i \\ 6l_i & 2l_i^2 & -6l_i & 4l_i^2 \end{bmatrix}. \quad (6)$$

После формирования матриц жесткости и масс конструкции, собственные значения могут быть найдены как детерминант системы однородных уравнений

$$\det[K - \omega^2 M] = 0. \quad (7)$$

После того, как определены частоты собственных колебаний ω_i , с использованием одного из алгоритмов поиска корней, могут быть вычислены собственные функции колебаний балки, вместе с их производными до третьего порядка.

Для подстановки результатов численного решения задачи поиска собственных значений конструкции в уравнение движения, то есть для записи собственных форм колебаний балки, необходимо аппроксимировать формы колебаний по известным значениям с помощью полиномиальной функции. При этом степень полинома может быть выбрана в зависимости от того, каким образом балка была разбита на сегменты. При достаточно мелком разбиении степень полинома может быть первой, в иных случаях выше. Таким образом, собственная форма колебаний конструкции может быть точно аппроксимирована с учетом повреждений, которые могут быть описаны в рамках конечно-элементного моделирования.

Неизвестное перемещение $w(x, t)$ записывается как ряд собственных функций балки

$$w(x_i, t) \cong \sum_{r=1}^n \varphi_{ir}(x_i) q_r(t); \quad i = 1, 2, \dots, N, \quad (8)$$

в котором приближенное значение соответствует ряду округлений. Таким образом, становится возможным вычислить неизвестные коэффициенты в $q_r(t)$, зависящие от времени t . Сила взаимодействия балки и движущегося транспортного средства (не принимая во внимание время) записывается как

$$f_i(t) = m \left\{ g - \sum_{r=1}^n \varphi_{ir}(\xi_i) \frac{\partial^2 q_r(t)}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \frac{\partial q_r(t)}{\partial t} \frac{\partial \varphi_{ir}(\xi_i)}{\partial x} + \left[\left(\frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \right)^2 \frac{\partial^2 \varphi_{ir}(\xi_i)}{\partial x^2} + \dots + \frac{\partial^2 \xi(t)}{\partial t^2} \frac{\partial \varphi_{ir}(\xi_i)}{\partial x} \right] q_r(t) \right\} \quad (9)$$

Ортонормируемые зависимости для случая балочного пролетного строения следующие

$$\sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \varphi_{is}(x_i) \rho \varphi_{ir}(x_i) dx_i = \delta_{sr}; \quad (10)$$

$$\sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \varphi_{is}(x_i) c \varphi_{ir}(x_i) dx_i = 2\zeta_i \omega_i \delta_{sr}; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \varphi_{is}(x_i) EI \varphi_{ir}^{IV}(x_i) dx_i = \omega_s^2 \delta_{sr}, \quad (12)$$

где δ_{sr} – символ Кронекера.

Интегрируя уравнение (2) по $\int_0^{l_i} \varphi_{is}(x_i) [] dx_i$ и суммируя по N сегментам с учетом ортонормируемых связей, получим

$$\frac{d^2 q_i(t)}{dt^2} + 2\zeta_i \omega_i \frac{dq_i(t)}{dt} + \omega_i^2 q_i(t) = F_s(t); \quad s = 1, 2, \dots, n, \quad (13)$$

где ζ_i – i -ый декремент затуханий,
 ω_i – i -ая частота собственных колебаний,

$$F_s(t) = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_i} \varphi_{is}(x_i) f_i(t) W[\xi_i(t), 0, l_i] \delta[x_i - \xi_i(t)] dx_i = \sum_{i=1}^N \varphi_{is}(x_i) [\xi_i(t)] f_i(t) W[\xi_i(t), 0, l_i], \quad (14)$$

Путем подстановки (9) в (14) получим

$$F_s(t) = m \varphi_s[\xi(t)] g - \sum_{r=1}^n \varphi_r[\xi(t)] \frac{\partial^2 q_r(t)}{\partial t^2} + 2 \frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \varphi_r'[\xi(t)] \frac{\partial q_r(t)}{\partial t} + \left[\left(\frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \right)^2 \varphi_r''[\xi(t)] + \dots + \frac{\partial^2 \xi(t)}{\partial t^2} \varphi_r'[\xi(t)] \right] q_r(t). \quad (15)$$

где φ_r' , φ_r'' – дифференцирование по x один и два раза соответственно.

Уравнение движения с учетом ортонормируемых зависимостей будет иметь следующий вид

$$\begin{aligned} \mathbb{D}(t) = C + 2m \frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \Phi^T[\xi(t)] \Phi'[\xi(t)] \\ \sum_{r=1}^n \delta_{sr} + m \varphi_s[\xi(t)] \varphi_r[\xi(t)] \frac{\partial^2 q_r(t)}{\partial t^2} + 2\zeta_i \omega_i \delta_{sr} + 2m \frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \varphi_s[\xi(t)] \varphi_r'[\xi(t)] \frac{\partial q_r(t)}{\partial t} + \dots + \\ + \omega_s^2 \delta_{sr} + m \varphi_s[\xi(t)] \times \left[\left(\frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \right)^2 \varphi_r''[\xi(t)] + \frac{\partial^2 \xi(t)}{\partial t^2} \varphi_r'[\xi(t)] \right] q_r(t) = mg \varphi_s[\xi(t)]. \end{aligned} \quad (16)$$

Уравнение (16) можно записать в матричной форме

$$\mathbb{M}(t) \ddot{q}(t) + \mathbb{D}(t) \dot{q}(t) + \mathbb{K}(t) q(t) = mg \Phi_0[\xi(t)], \quad (17)$$

где $q(t)$ – n -мерный вектор неизвестных $q_r(t)$;

$$\Phi(x) = [\varphi_1(x), \varphi_2(x), \dots, \varphi_n(x)]^T, \quad (18)$$

а матрицы $\mathbb{M}(t)$, $\mathbb{D}(t)$, $\mathbb{K}(t)$ записываются как:

$$\mathbb{M}(t) = I_n + m \Phi^T[\xi(t)] \Phi[\xi(t)]; \quad (19)$$

$$\mathbb{D}(t) = C + 2m \frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \Phi^T[\xi(t)] \Phi'[\xi(t)]; \quad (20)$$

$$\mathbb{K}(t) = \Omega^2 + m \Phi^T[\xi(t)] \left\{ \left[\frac{\partial \xi(t)}{\partial t} \right]^2 \Phi''[\xi(t)] + \frac{\partial^2 \xi(t)}{\partial t^2} \Phi'[\xi(t)] \right\}, \quad (21)$$

где I_n – единичная матрица размерностью $n \times n$;

$$C = \text{diag}[2\zeta_i \omega_i]; \quad \Omega^2 = \text{diag}[\omega_1^2, \omega_2^2, \dots, \omega_n^2].$$

Подставляя граничные условия, можно найти численное решение уравнения, например, методом Рунге-Кутты.

После вычисления вектора $q(t)$ определим отклик конструкции по следующим зависимостям:

$$w(x, t) = \Phi^T(x) q(t); \quad (22)$$

$$\mathcal{G}(x, t) = \Phi^T(x) \dot{q}(t); \quad (23)$$

$$M(x, t) = -EI \Phi^{T''}(x) q(t); \quad (24)$$

$$V(x, t) = -EI \Phi^{T'''}(x) q(t). \quad (25)$$

Подставляя в (18) вместо переменной x координату $\xi(t)$, то есть положение массы в момент времени t , могут быть вычислены вертикальные перемещения точки контакта по формуле (22).

Для сравнения результатов, которые могут быть получены в результате аппроксимации собственных форм колебаний балки с повреждениями используются данные, приведенные в статье [1], в которой рассмотрено взаимодействие алюминиевой балки с пропилами и движущегося по ней диска.

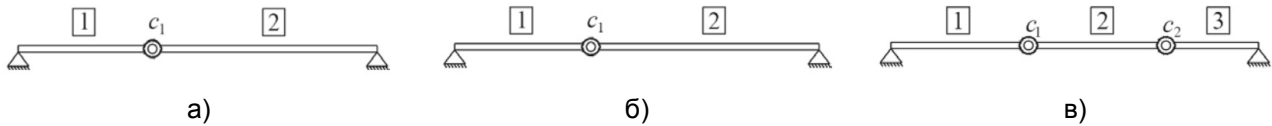


Рисунок 2 – Расчетные схемы для трех случаев поврежденной балки: а)-высота сечения уменьшена на 30% на расстоянии $6/16 l$; б)-высота сечения уменьшена на 60% на расстоянии $6/16 l$; в)-высота сечения уменьшена на 60% на расстоянии $6/16 l$ и $12/16 l$

По статической схеме модель выполнена в виде шарнирно-опертой балки, схема которой приведена на рисунке 2. Вес модели составляет 19,72 Н, погонная масса равна 1,871 кг/м. Изгибная жесткость составляет 162,6 Н·м². Стальной диск, движущийся по алюминиевой балке имеет вес 4,952 Н. Длина сегмента в конечно-элементной модели составляет 1,0515 мм, что позволяет использовать полином первой степени для аппроксимации собственных форм колебаний. Повреждение смоделировано путем уменьшения изгибной жесткости сегмента, расположенного в месте повреждения. Результаты вычисления максимального прогиба точки, расположенной на расстоянии 460 мм от места заезда диска на алюминиевую балку представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты вычисления максимального прогиба точки, расположенной на расстоянии 460 мм от места заезда диска на алюминиевую балку

| Вариант | Средняя скорость | Вариант 1 | | Вариант 2 | | Вариант 3 | |
|---------|------------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|-----------------------|----------------|
| | | Результаты из [1], мм | Результаты, мм | Результаты из [1], мм | Результаты, мм | Результаты из [1], мм | Результаты, мм |
| V1 | 3,06 | 0,73 | 0,723 | 0,764 | 0,759 | 0,784 | 0,784 |
| V2 | 4,12 | 0,738 | 0,731 | 0,773 | 0,772 | 0,783 | 0,796 |
| V3 | 4,63 | 0,741 | 0,734 | 0,779 | 0,766 | 0,799 | 0,792 |
| V4 | 5,18 | 0,742 | 0,741 | 0,775 | 0,781 | 0,79 | 0,806 |
| V5 | 5,72 | 0,747 | 0,739 | 0,783 | 0,772 | 0,802 | 0,797 |
| V6 | 6,35 | 0,754 | 0,748 | 0,788 | 0,785 | 0,806 | 0,812 |
| V7 | 6,92 | 0,742 | 0,754 | 0,789 | 0,791 | 0,808 | 0,816 |
| V8 | 7,59 | 0,761 | 0,745 | 0,804 | 0,789 | 0,821 | 0,815 |

Сравнение результатов показало, что максимальная относительная ошибка при вычислении отклика при одном повреждении (уменьшение высоты сечения на 30%) составила 2,05% при скорости 7,59 км/ч. В случае уменьшения высоты сечения на 60% в одном месте максимальная относительная ошибка составила 1,87% при скорости движения 7,59 км/ч. В случае двух повреждений с уменьшенной высотой сечения на 60% максимальная относительная ошибка составила 2,03% при скорости движения диска 5,18 км/ч (рисунок 3).

В статье рассмотрен подход вычисления откликов системы «балка с повреждениями – экипаж» с использованием аппроксимации собственных значений шарнирно-опертой балки Эйлера-Бернулли. Установлено, что относительная ошибка по сравнению с результатами, приведенными ранее, составила не более 2,05%. Малая относительная ошибка означает возможность применения аппроксимации собственных значений форм колебаний, найденных с использованием конечно-элементной модели.

Полученные результаты могут быть использованы при моделировании реальных про-

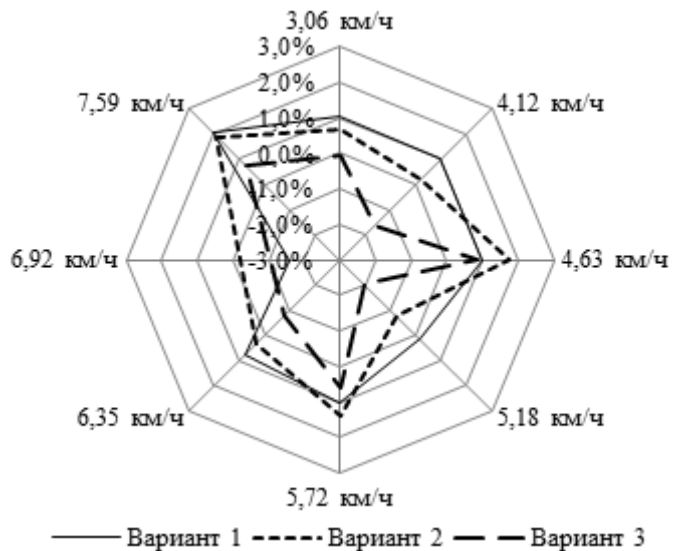


Рисунок 3 – Относительная ошибка при вычислении отклика: а)-Вариант 1-высота сечения уменьшена на 30% на расстоянии $6/16 l$, б)-Вариант 2-высота сечения уменьшена на 60% на расстоянии $6/16 l$, в)-Вариант 3-высота сечения уменьшена на 60% на расстоянии $6/16 l$ и $12/16 l$

лётных строений мостов с повреждениями при движении по ним различных нагрузок. Конечно-элементная модель позволяет с высокой степенью точности описать динамические характеристики конструкции, в том числе учесть реальное напряженно-деформированное состояние с учетом любых повреждений. Таким образом, результаты вычислений будут отличаться повышенной точностью и позволят избежать использования аналитических формул для вычисления характеристик повреждения, большинство которых применимо лишь для конкретного типа дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Bilello, C. Vibration of damaged beams under a moving mass: theory and experimental validation / C. Bilello, L.A. Bergman // J. of Sound and Vibration. -2004. -Vol.274, №3/5. -С. 567-582.
- 2 Christides, S. One-dimensional theory of cracked Bernoulli-Euler beams / S. Christides, A.D.S. Barr // Intern. J. of Mech. Science. -1984. -Vol.26, №11/12. -P. 639-648.
- 3 Pestel, E.C. Matrix methods in elastomechanics / E.C. Pestel, F.A. Leckie. -New York: McGraw-Hill, 1963.
- 4 Tada, H. The Stress Analysis of Cracks Handbook / H. Tada, P.C. Paris, G.R. Irwin. -Third Ed. -ASME Press, 2000. -696 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование, балка, повреждение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глушков Сергей Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Донец Николай Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Каргин Владимир Анатольевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

**ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного
транспорта»
ООО «Мидель»**

С.П. Глушков, С.С. Глушков, О.Б. Лебедев, В.В. Коновалов

MATHEMATICAL MODELING FORCED VIBRATIONS OF GROSS LINE SHIP POWER PLANTS

Novosibirsk state academy of water transport

Midship

S.P. Glushkov, S.S. Glushkov, O.B. Lebedev, V.V. Konovalov

The average torque plays an important role in the modeling of ship power plant and has a direct impact on the results of the calculation - the forced oscillation amplitude, voltage elements torsionally oscillating system and the technical condition of crank and main bearings.

Keywords: forced oscillations, marine diesel

Средний крутящий момент играет важную роль в моделировании я судовой энергетической установки и оказывает непосредственное влияние на результаты расчета - вынужденную амплитуду колебаний, напряжения в элементах крутильно-колеблющейся системы и технического состояния мотылевых и коренных подшипников.

Вынужденные колебания валовой линии вызываются воздействием периодических возмущающих моментов. Величина этих моментов зависит от характеристик главных двигателей, передаточных механизмов, соединительных элементов и приемников энергии. Наибольшие возмущающие моменты валовой линии генерируются в двигателях внутреннего сгорания и обусловлены воздействием сил давления газов в цилиндрах. Возмущающие моменты в реальных системах приложены к кривошипно-шатунным механизмам ДВС и компрессоров, полумуфтам, вилкам карданных соединений, зубчатым колесам, приемникам энергии и т.д. При замене реальной системы расчетной, возмущающие моменты прикладываются к соответствующим сосредоточенным массам. В двигателях внутреннего сгорания возмущающие моменты на различных шатунных шейках коленчатого вала имеют одинаковую частоту, но отличаются по амплитуде в некоторый момент времени. Это справедливо при одинаковой регулировке топливной аппаратуры и механизмов газораспределения в цилиндрах двигателя.

Прямые методы определения параметров вынужденных колебаний многомассовых систем любой сложности, основанные на решении системы линейных алгебраических уравнений, определяемых из уравнений механики Лагранжа-Даламбера, предполагают непосредственную подстановку возмущающих моментов в уравнения собственных колебаний. Дифференциальные уравнения вынужденных колебаний систем отличаются от колебаний нали-

чим в правой части этих уравнений возмущающих моментов, приложенных к соответствующим массам. В судовых энергетических установках возмущающие моменты являются периодическими. Предположим, что эти моменты представлены в виде функции синуса и воздействуют на не диссипативную систему, состоящую из $n + 1$ масс.

Уравнение вынужденных колебаний для k -ой гармоники будет иметь вид

$$J\ddot{X} + CX = M, \quad (1)$$

где M – матрица возмущающих моментов.

$$M = \begin{bmatrix} M_1 \sin(k\omega_{s1}t + \chi_k) \\ M_2 \sin(k\omega_{s2}t + \chi_k) \\ \dots \\ M_{n+1} \sin(k\omega_{sn+1}t + \chi_k) \end{bmatrix},$$

где χ_k – начальная фаза гармонически изменяющегося момента k -го порядка;

t – время отсчета;

k – порядок гармонически изменяющегося момента.

Непосредственное решение уравнения (1) основано на представлении вектора обобщенных координат в виде $X = X_0 \sin(k\omega t + \chi_k)$. После выделения временного множителя задача об установившихся вынужденных колебаниях сводится к решению неоднородной системы линейных алгебраических уравнений

$$(C - \omega^2 J) X_0 = M. \quad (2)$$

Решение выражения (2) существует тогда, когда выполняется условие

$$\det(C - \omega^2 J) X_0 \neq 0. \quad (3)$$

В том случае, если условие (3) выполняется, справедливо следующее

$$X = \frac{M}{C - \omega^2 J}. \quad (4)$$

Определитель системы (2) равен нулю при совпадении частоты внешнего возбуждения с одной из собственных частот рассматриваемой механической системы ω_i . При $\omega = \omega_i$ амплитудные коэффициенты обобщенных координат становятся неопределенными. В этом случае говорят о резонансе на некоторых частотах. Условием существования резонанса является совпадение частоты внешнего возбуждения с одной из собственных частот $\omega = \omega_i$. Однако возможен случай, когда при совпадении частот $\omega = \omega_i$ резонанса не будет; он реализуется при выполнении дополнительного условия

$$(F, A_i) = 0, \quad (5)$$

где F – возмущающая сила;

A_i – матрица перемещений при i -ой форме колебаний.

Условие (5) означает, что внешние силы не совершают работы на перемещениях, соответствующих i -ой форме колебаний. При этом существует решение системы алгебраических уравнений (2) с определителем, равным нулю, когда ранги матрицы системы и расширенной матрицы равны.

Вынужденные колебания диссипативной системы также сводятся к сопоставлению собственных частот и частот внешних возбудителей. Под диссипативной системой в данном случае понимается такая система, на собственные частоты которой оказывают влияние силы рассеяния энергии, обусловленные внутренним трением в материале. В таком случае жесткость c и рассеяние энергии d на каждом из участков рассматриваемой системы являются связанными параметрами. Запишем уравнение для вынужденных колебаний диссипативных систем по аналогии с (1)

$$J\ddot{X} + D\dot{X} + CX = M. \quad (6)$$

Преобразуя (6), можно получить $n + 1$ несвязных уравнений вида [1]

$$\ddot{x}_i + \frac{d_i}{J_i} \dot{x}_i + \omega_i^2 x_i = M_i; \quad i = 1, 2, 3, \dots, n, n+1, \quad (7)$$

где d_i – параметр демпфирования i -ого участка;

J_i – момент инерции i -ой массы;

ω_i – собственная частота, соответствующая i -ой форме колебаний.

Матрица коэффициентов D без ограничения общности может рассматриваться как симметричная. Среди диссипативных систем с конечным числом степеней свободы могут быть как системы с полной диссипацией, так и с неполной. К системам с полной диссипацией относят такие системы, для которых функция Релея является положительной, матрица D при этом является положительно определенной. Для систем с неполной диссипацией функция Релея является неотрицательной, а матрица D – неотрицательно определенной.

Диссипация существенно влияет на установившиеся вынужденные колебания. Для систем с полной диссипацией амплитуды при резонансах становятся конечными, а сдвиги по фазам колебаний для обобщенных координат не равны 0 и π .

Линейность систем (6) и (1) дифференциальных уравнений позволяет применять к ним принцип суперпозиции при действии в крутильно-колеблющейся системе нескольких возбуждающих моментов, различных по величине, фазе и месту приложения. Под этим понимается возможность наложения в любых точках системы движений, найденных по отдельно действующим возмущающим моментам.

При наличии нескольких возмущающих моментов одной и той же частоты, приложенных в различных точках системы имеет смысл находить перемещения в системе несколько раз при раздельном учете каждого из возмущающих моментов. Результат затем можно складывать с учетом сдвига фаз в более простой геометрической форме.

Прямые методы определения параметров вынужденных колебаний не являются единственно возможными. Более 80 лет существуют и доныне применяются методы, основанные на геометрических построениях, простых табличных вычислениях или специальных алгоритмах, основанных на использовании цепных дробей. Расчет вынужденных колебаний по этим методам возник из ранее разработанного счетно-графического определения частот собственных колебаний по способу остатка, смысл которого состоит в решении частотного уравнения высокой степени путем ряда проб. Структура таблиц в таких методах соответствует последовательному отображению уравнений движения элементов системы для выбранной частоты и единичной относительной амплитуды начальной массы. Если выбранная частота соответствует одной из форм собственных колебаний, на конечной массе получается равновесие сил. В других случаях к конечной массе должен быть приложен так называемый «остаточный» момент. Такие методы не предполагают расчет собственных колебаний диссипативных систем. В том случае, когда силы трения не учитываются, расчет носит приближенный характер [2].

В судовых валовых линиях моменты, вызывающие крутильные колебания, могут быть представлены в виде функции от угла поворота коленчатого вала.

Все действующие в системе возмущающие моменты заменяются тригонометрическим рядом посредством разложения в ряд Фурье. Проведем такое разложение на примере возмущающего момента от сил давления газов в цилиндре ДВС. Гармонические моменты, вызывающие крутильные колебания, могут быть определены по результатам разложения в ряд Фурье натуральных измерений: цилиндрической индикаторной диаграммы двигателя (рисунок 1) и торсиограммы судовой энергетической установки (рисунок 2). Все эти измерения позволяют определить крутящий момент судовой энергетической установки. Разложение крутящего момента в ряд Фурье производится на основании теоремы Фурье, согласно которой всякую периодическую функцию, удовлетворяющую условиям Дирихле, можно представить в виде сходящегося бесконечного ряда синусоидальных величин.

Тогда крутящий момент, действующий на колено вала, запишем в виде

$$M = f(\omega_s t) = M_0 + M_1 \sin(\omega_s t + \alpha_1) + \dots + M_i \sin(i\omega_s t + \alpha_i) = M_0 + \sum_{k=1}^{\infty} M_k \sin(k\omega_s t + \alpha_k), \quad (8)$$

где M_0 – средний крутящий момент, действующий на колено вала;

M_1, M_2, \dots, M_k – амплитуды составляющих гармонически изменяющихся моментов (гармоник);

ω_s – угловая скорость, зависящая от периода изменения крутящего момента двигателя, соответствующая возмущающей частоте

$$\omega_s = 2\pi/T;$$

α – угол поворота коленчатого вала.

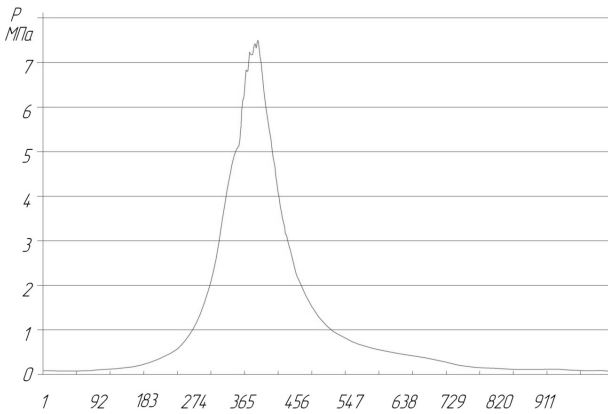


Рисунок 1 – Цилиндровая индикаторная диаграмма дизельного двигателя типа 6ЧНСП16/22,5 при работе на дизельном топливе ГОСТ 305-82 «Л»

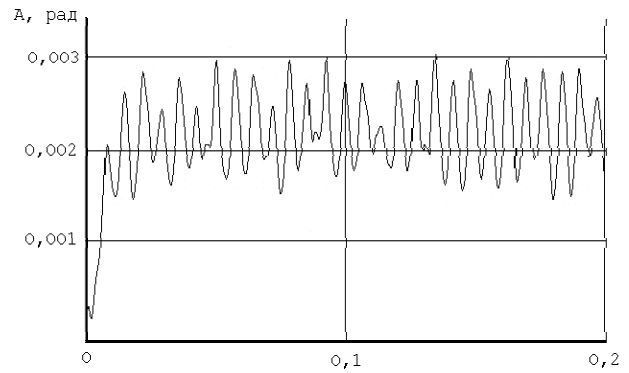


Рисунок 2 – Торсионграмма судовой энергетической установки т/х «Ленанефть» для одного оборота коленчатого вала

Определим амплитуды фазы и частоты гармоник. Разложим каждый член ряда по известному выражению

$$\sin(\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \cos \alpha \sin \beta .$$

Обозначив члены разложения как:

$$M_1 \sin \alpha_1 = A_1; M_2 \sin \alpha_2 = A_2; M_k \sin \alpha_k = A_k; M_1 \cos \alpha_1 = B_1; M_2 \cos \alpha_2 = B_2; M_k \cos \alpha_k = B_k ,$$

определим вторую форму тригонометрического разложения

$$\begin{aligned} M = f(\omega_s t) &= M_0 + B_1 \sin(\omega_s t) + B_2 \sin(2\omega_s t) + A_1 \cos(\omega_s t) + A_2 \cos(2\omega_s t) = \\ &= M_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [B_k \sin(k\omega_s t) + A_k \cos(k\omega_s t)]. \end{aligned} \quad (9)$$

Коэффициенты A_k, B_k (коэффициенты Фурье) и средний крутящий момент M_0 определяются по формулам:

$$\begin{aligned} A_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega_s t) \cos(k\omega_s t) d(\omega_s t); \\ B_k &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega_s t) \sin(k\omega_s t) d(\omega_s t); \\ M_0 &= \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega_s t) d(\omega_s t). \end{aligned} \quad (10)$$

Для вычисления коэффициентов Фурье требуется знать зависимость крутящего момента от угла поворота коленчатого вала. Крутящий момент на вале двигателя определяется в результате динамического расчета двигателя через его геометрию и силовые факторы, действующие в КШМ

Очевидно, что в формулу для определения зависимости $M(\alpha)$ войдет величина давления газов в цилиндре p . Обычно индикаторная диаграмма двигателя бывает представлена табличной зависимостью $p(\alpha)$ в $i = 1, \dots, m$ точках. Тогда коэффициенты A_k, B_k определяются приближенно путем численного интегрирования. Точность определения коэффициентов тем выше, чем больше количество участков индикаторной диаграммы. Определив коэффициенты A_k и B_k , вычисляется амплитуда M_k и фаза φ_k k -ой гармоники.

Амплитуда гармонической составляющей от сил давления газов в цилиндре M_k может быть определена как на основании натуральных измерений, так и при использовании эмпирических формул. Например, для двигателя простого действия, работающего по циклу дизеля, амплитуду гармонической составляющей момента от сил давления газов в цилиндре можно определить по формуле

$$M_k = \frac{\pi D^2}{k_m} R \cdot p_c \cdot y_k, \quad (12)$$

где k_m – число тактов в цикле двигателя;

- D – диаметр цилиндра;
- R – радиус колена;
- p_c – давление сжатия;
- y_k – гармонический коэффициент, определяемый по соответствующим номограммам профессора В.П. Терских или по эмпирическим формулам.

Расчетным способом могут быть определены возмущающие моменты в соединениях различного рода, а также в приемниках энергии.

Значение M_0 в (8) имеет физический смысл постоянного крутящего момента на определенном участке системы. Постоянный крутящий момент участка системы для двигателя простого действия может быть определен по формулам:

– при расположении привода распределительных валов, насосов, компрессоров и прочих механизмов перед первым коленом вала (рисунок 3)

$$M_0^{np,1} = -0,3p_{мех} \frac{D^2 R}{2m} z_n ;$$

$$M_0^{y,y+1} = \left[(p_e + 0,3p_{мех}) \frac{y}{z} - 0,3p_{мех} \right] \frac{D^2 R}{2m} z_n ;$$

$$M_0^{z,фл} = p_e \frac{D^2 R}{2m} z_n$$
(13)

где y – номер участка рассматриваемой крутильно-колеблющейся системы
 $y = 1, 2, \dots, z - 1$;

- p_e – среднее эффективное давление;
- $p_{мех}$ – давление механических потерь;
- z, z_n – число колен и число поршней в двигателе.

– при расположении этого привода механизмов за последним коленом вала (рисунок 4)

$$M_0^{y,y+1} = (p_e + 0,3p_{мех}) \frac{y}{z} \frac{D^2 R}{2m} z_n ;$$

$$M_0^{z,np} = (p_e + 0,3p_{мех}) \frac{D^2 R}{2m} z_n ;$$

$$M_0^{np,фл} = p_e \frac{D^2 R}{2m} z_n .$$
(14)

Формулы (13) и (14) применимы только для участков вала вне шатунных шеек. В пределах шатунных шеек применяется прямолинейный закон изменения M_0 между смежными значениями.

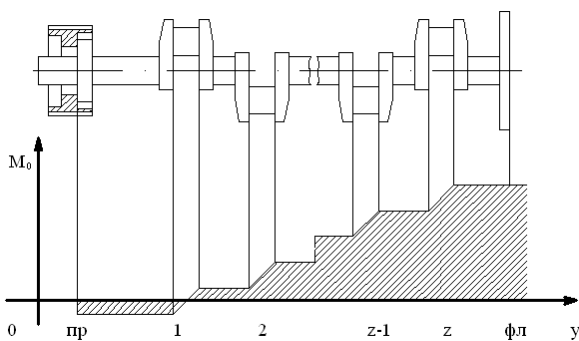


Рисунок 3 – Развитие постоянного крутящего момента по шейкам коленчатого вала дизеля с приводом отбора мощности на переднем конце

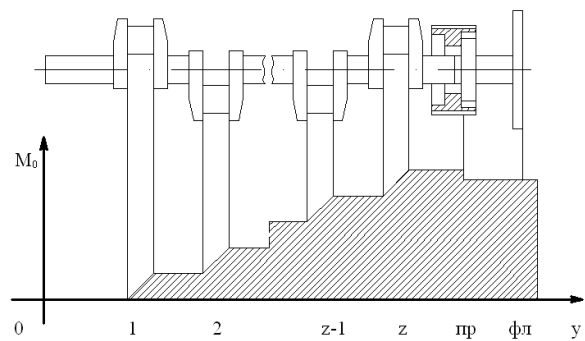


Рисунок 4 – Развитие постоянного крутящего момента по шейкам коленчатого вала дизеля с приводом отбора мощности между цилиндром и маховиком

Из рисунков 3 и 4 видно, что значение среднего крутящего момента варьируется для различных участков коленчатого вала и зависит от взаимного расположения элементов крутильно-колеблющейся системы. То есть средний крутящий момент будет иметь различные значения для одного и того же двигателя, установленного в различных по конструкции кру-

тельно-колеблющихся системах. Следовательно, расчет среднего крутящего момента должен производиться для каждой крутильно-колеблющейся системы индивидуально.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле / С.П. Тимошенко, Д.Х. Янг, У. Уивер. -М.: Машиностроение, 1985. - 472 с.
- 2 Истомин, П.А. Крутильные колебания в судовых ДВС / П.А. Истомин. -Л.: Судостроение, 1968. -303 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *вынужденные колебания, судовой дизель*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Глушков Сергей Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Глушков Сергей Сергеевич, канд. техн. наук, директор ООО «Мидель»
Лебедев Олег Борисович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Коновалов Валерий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
630004, г.Новосибирск, а/я 129, ООО «Мидель»

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИИ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА «ДВИГАТЕЛЬ-ТОПЛИВО-МАСЛО»

**ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»**

Г.П. Кича, А.В. Надежкин, Н.К. Пак

THE IMITATING MODELING OF WEAR PROCESS DIESEL ENGINE AT ITS FUNCTIONING IN COMPLEX «DIESEL ENGINE-FUEL-MOTOR OIL»

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
G.P. Kicha, A.V. Nadezhkin, N.K. Pak

Show the results of imitating modeling of the wear process of ship's engine at functionary its tribological interface in versions conditions. The influence of speedy up and setting on the working of diesel engine at wearing its details at steam in friction parts the abrasive particles – unsolution products is mating at the burning in diesel engine heavy fules and the ageing motor oils is investigated

Keywords: modeling of wear process, calculation of wearing, abrasive of wear process, abrasivity unsolution products of ageing of motor oil

Приведены результаты имитационного моделирования изнашивания судового дизеля при функционировании его трибосопряжений в различных условиях. Исследуется влияние форсировки и режимов работы двигателя на изнашивание его деталей, вызываемое попаданием в пары трения абразивных частиц – нерастворимых продуктов, образующихся при сжигании в дизеле тяжелых топлив и старении моторных масел.

Одним из показателей эффективности функционирования смазочной системы (СС) ДВС является степень влияния смазки на долговечность узлов трения двигателя. Развитие теории трения и износа дизелей обусловило необходимость создания теоретических моделей количественного описания происходящих в узлах трения трибологических процессов.

Нами рассмотрена возможность исследования влияния качества топлива, а также моторного масла (ММ) и продуктов его старения на изнашивание деталей ДВС. Особенностью реализуемого подхода является прогнозирование износостойкости основных деталей судового дизеля на ЭВМ, воспроизводящего режимы работы СДЭУ, карбонизации ММ и условия смазки при попадании в пары трения абразивных частиц – продуктов старения и внешнего загрязнения смазочного масла.

Вычислительный эксперимент проводили с целью исследования износостойкости ДВС в системе «дизель-топливо-масло» (ДТМ). Имитационное моделирование позволило изучить сложную систему ДТМ, полное математическое описание функционирования которой невозможно вследствие случайного характера связей [1].

Результаты экспериментов показали возможность точной оценки износа деталей дизелей на основе анализа толщины масляной пленки между компрессионными кольцами и втулкой цилиндра, а также между валом и вкладышами подшипника. Толщину масляной пленки h_m находили из условия динамического равновесия поршневого кольца под действием газа, упругости кольца и гидродинамического давления смазочного слоя. При расчете относительного движения вала в нестационарно нагруженном подшипнике рассматривали его

мгновенное равновесное положение под действием главного вектора внешних сил, приведенных к центру вала, и уравновешивающей его гидродинамической реакции смазки. Поставленная задача моделирования реализована на основе изнашивания деталей усталостными явлениями вследствие пластического микродеформирования объемов поверхностей трения и микрорезания; условия перехода от одного вида изнашивания к другому задавались h_m , глубиной внедрения $h_{1(2)}$ и свойствами абразивных частиц [2].

Скорость изнашивания (по объему) устанавливали интегрированием функции, характеризующей воздействие частиц конкретного размера и прочности на выделенный элемент $\Delta\alpha D_i L_i$ пары трения

$$I_{v1(2)} = \frac{\Delta\alpha D_i L_i \rho_m}{60 \rho_d} c \int_{d_{\min}}^{d_{\max}} \frac{U_{d1(2)} h_{1(2)}^{3/2}}{n_{f1(2)} d^{5/2}} F(d) dd, \quad (1)$$

где $c, F(d)$ – концентрация, дифференциальная функция распределения по размерам (диаметру) частиц дисперсной фазы (ДФ), поступающих в трибосопряжение; d, ρ_d – диаметр и плотность частиц нерастворимых продуктов (НРП) в масле; ρ_m – плотность масла.

Число циклов воздействия $n_{f1(2)}$, приводящих к отделению металла при повторных пластических деформациях, выражали через параметры материала [3]

$$n_{f1(2)} = \left(\frac{I_{01(2)}}{I_{x1(2)}} \right)^{t_{f1(2)}}, \quad (2)$$

где $t_{f1(2)}$ – коэффициент фрикционной усталости.

Текущее значение параметра кривой фрикционной усталости находили из соотношения

$$I_{x1(2)} = 2_{B1(2)} \sqrt{\frac{2h_{1(2)}}{d}}. \quad (3)$$

При достижении абразивной частицей критической глубины внедрения пластическое отеснение переходит в микрорезание. В случае микрорезания материала имеет место при $I_{x1(2)} = I_{01(2)}$. Критерием перехода к нему служит величина $(2h_{1(2)}/d)_{mp}$, зависящая от свойств абразивной частицы, материала деталей трения и вида трения.

Учитывая, что $I_{01(2)}$ при микрорезании близко к относительному удлинению $\delta_{01(2)}$ на разрыв, $B_{1(2)}$ представляли в виде

$$B_{1(2)} = \delta_{01(2)} \left(2 \sqrt{\frac{2h_{1(2)}}{d}} \right)_{mp}. \quad (4)$$

Подставив (4) в (3) по (2) выявили зависимость $n_{f1(2)}$ от $h_{1(2)}$ и d

$$h_{f1(2)} = \left[\frac{(2h_{1(2)}/d)_{mp}}{(2h_{1(2)}/d)_x} \right]^{\frac{t_{f1(2)}}{2}}, \quad (5)$$

Глубину внедрения частицы нашли из равенства

$$h_{1(2)} = (d - h_m) \frac{HB_{2(1)}}{HB_1 + HB_2}, \quad (6)$$

где HB_1, HB_2 – твердость деталей трения.

Скорость движения абразивной частицы U_d в трибосопряжении приняли как комбинацию скоростей U_1 и U_2 трущихся деталей

$$U_{d1(2)} = \frac{HB_{2(1)}}{HB_1 + HB_2} |U_1 - U_2|. \quad (7)$$

Абразивное изнашивание имеет место, если частицы не разрушаются. Критерием при оценке разрушения ДФ в парах трения полагали $\sigma_{1(2)} \leq \sigma_p$. Напряжения, возникающие в частице при попадании в трибосопряжение, рассчитывали через ее модуль упругости E и сопротивление материала пары трения P пластическому отеснению $I_{r1(2)}$

$$\sigma_{1(2)} = 0,233 \sqrt[3]{PE^2 \left(\frac{d}{2A_d} \right)^2} \quad (8)$$

Полученное М.А. Григорьевым выражение для σ_p [4] после уточнения с учетом свойств рассматриваемой ДФ принимает вид:

$$\sigma_p = 9860 \left(\frac{A_d}{d^{0,36}} + 0,05 \right) W_r^{1,42}, \quad (9)$$

входящее в уравнение (8) и (9) A_d зависит от строения спекшихся микроконгломератов и дисперсности частиц разрушенных нагаров с деталей цилиндрической поршневой группы (ЦПГ), а W_r учитывает их твердость и абразивность [1].

Суммируя повреждения, наносимые абразивными частицами разных диаметров и твердости за рабочий цикл ДВС τ_u , получили формулу для расчета объемного износа поршневого кольца:

$$I_{r1(2)} = 6d_u h_k \frac{\rho_m}{\rho_d} \int_0^{\tau_u} \int_{\sigma_{p1}}^{\sigma_{p2}} \int_{d_{min}}^{d_{max}} \frac{U_d h_{1(2)}^{3/2} h_m}{n_{f1(2)} d^{5/2}} F(d, \sigma_p) d d d \sigma_p d \tau, \quad (10)$$

где d_u – диаметр цилиндра;

h_k – высота поршневого кольца.

При расчете цилиндрической втулки рассматривали воздействие всех поршневых колец на ее участки, для которых h_m можно принять постоянной величиной. Учитывали также периодичность контакта.

Движение вала в подшипнике рассматривали как последовательную смену квазистатического состояния. Интервал времени, соответствующий этому состоянию, считали шагом интегрирования. Поверхность вала и подшипника делили проходящими через их оси плоскостями на ряд сечений. Гидродинамические характеристики смазочного слоя и толщину масляного клина h_m для каждого сечения в пределах шага интегрирования полагали постоянным.

Для моделирования на ЭВМ случайной величины, например, режима работы двигателя, использовали метод статических испытаний. С помощью имитационной модели разыгрывали режим работы ДВС, определяли силы, действующие на поршневые кольца и вал, затем по методике [2] проводили гидродинамический расчет трибосопряжений и выявляли толщину масляного слоя, по модели (10) находили износ. Управление моделью и переход к видам изнашивания осуществляли посредством $n_{f1(2)}$, а также ограничения $\sigma_{1(2)} < \sigma_p$ и задания предела гидродинамической смазки, при котором наблюдается контактное изнашивание.

Износ поршневого кольца, а также в заданном сечении α_i подшипника или цилиндрической втулки для выбранного режима нагружения P_{me} устанавливали вначале за время τ_u , затем за период работы на данной нагрузке. Расчет повторяли до полного воспроизводства распределения $f(P_{me}, n_{ke})$. Для определения наличия дробления ДФ производили розыгрыш на ЭВМ твердости и относительного удлинения материалов пар трения и прочности частиц загрязнения ММ как величин случайных.

Значительный выигрыш машинного времени дает расшифровка пределов интегрирования в уравнении (10) с учетом тонкости отсева фильтра, шероховатости поверхностей и размера частиц, начиная с которых пластическое передеформирование переходит в микро-резание. Для вычисления подынтегральных функций производили последовательный вызов подпрограмм, содержащих процедуры определения концентрации частиц рассматриваемого размера и твердости, а также условия их дробления.

Работоспособность предлагаемой имитационной модели (ИМ) проверена на двигателе 2ДС4 (2Ч10,5/13). Наибольшая нагрузка на поршневые кольца этого ДВС наблюдается на тактах сжатия и рабочего хода, когда давление в цилиндре наиболее высокое. Толщина несущего масляного слоя для второго и третьего тактов цикла составляет 0,5-3 мкм, что предопределяет максимальную скорость изнашивания (рисунок 1).

Расчетная эпюра износа I_s цилиндрической втулки за 200 ч работы дизеля соответствует экспериментальной (рисунок 1). Наибольший износ отмечен при положении поршня в ВМТ, в зоне первого и второго компрессионных колец.

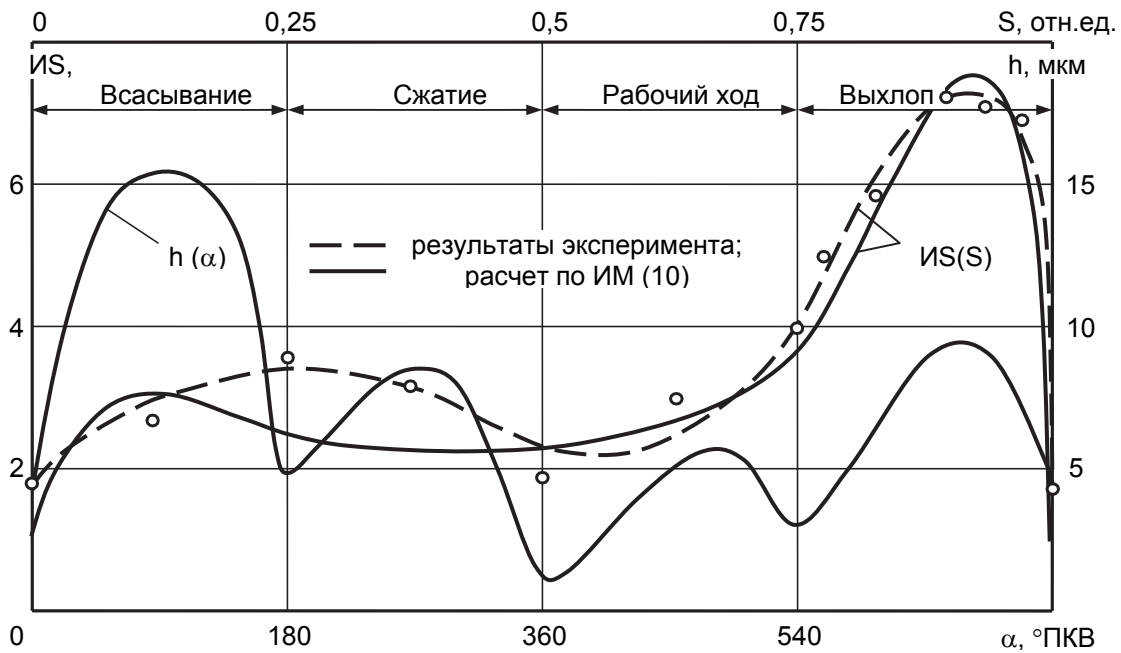


Рисунок 1 – Несущая толщина масляного слоя в трибосопряжении ЦПГ и изнашивание втулки цилиндра дизеля 2Ч10,5/13

Возможности модели (10), преобразованной для расчета износа подшипников в судовых условиях эксплуатации проверяли на дизеле 9ZL40/48 (9ДН40/48). Загрязненность циркуляционного масла при моделировании составляла $c = 0,7\%$, $m = 0,65$ мкм. Расчетная эпюра износа шатунного подшипника совпадает с реальной и согласуется с зависимостью $h_m(\alpha)$. Максимальный I располагается в зоне минимального несущего слоя смазки, приходится на 220° ПКВ и достигает 13 мкм на 1000 ч работы. Расчетная зависимость $I(\alpha)$ по модели (10) для рассматриваемых дизелей хорошо согласуется с результатами физического моделирования и статистическими данными. Расхождение по I , полученному при моделировании в итоге эксперимента, незначительное и составляет 18%.

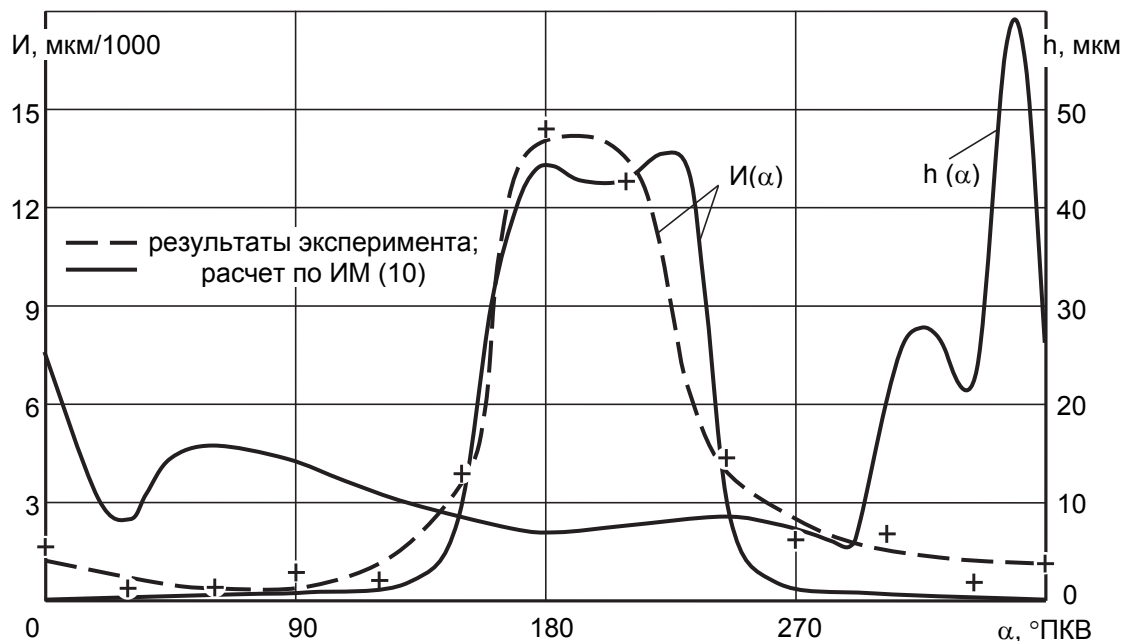


Рисунок 2 – Несущая толщина масляного слоя в трибосопряжении «вал-вкладыш» и изнашивание шатунного подшипника дизеля 9ZL40/48

Разработанные модели массо-дисперсного обмена загрязнений в ММ СС [1] и изнашивания основных деталей дизеля позволяют прогнозировать эффективность функционирования комплекса ДТМ по критерию изнашивания. При этом учитывается влияние качества топ-

лива и ММ, форсировки и режимов работы дизеля на формирование абразивных свойств НРП старения масла. Моделирование предусматривает также идентификацию функционирования комплекса ДТМ по критерию изнашивания, когда рассматриваются взаимодействие всех его звеньев.

Расчеты по имитационным моделям показывают, что для надежной защиты пар трения форсированных дизелей, эксплуатируемых на тяжелых топливах, необходимы применение высокощелочных масел и комбинированная очистка их.

Возможности разработанных моделей проверены для различных типов ДВС, как транспортного, так стационарного назначения. Для оценки изнашивания двигателей пользовались статистическими данными по гистограммам нагрузок ДВС в различных условиях эксплуатации. Сопоставление данных расчета и экспериментального определения *I* показало, что по результатам имитационного моделирования изнашивания можно прогнозировать ресурс двигателей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кича, Г.П. Решение проблемы высокоэффективной очистки моторного масла в судовых дизелях: в 2 т.: дис. ... докт. техн. наук: 05.08.05: защищена 06.10.92: утв. 24.02.93 / Кича Геннадий Петрович. -Владивосток, 1992. -2 т.
- 2 Захаров, С.М. Прогнозирование показателей износостойкости нестационарно-нагруженных опор скольжения силовых установок с помощью метода имитационного моделирования / С.М. Захаров // Трение и износ. -1982. -Т.3, №5. -С. 789–800.
- 3 Крагельский, И.В. Трение и износ / И.В. Крагельский. -М.: Машиностроение, 1968. -480 с.
- 4 Григорьев, М.А. Разработка метода расчета абразивного износа цилиндров автомобильного двигателя / М.А. Григорьев, Н.Н. Пономарев, В.А. Метелкин // Двигателестроение. -1980. -№6. -С. 20-23.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *моделирование изнашивания, расчет изнашивания, абразивное изнашивание, абразивность нерастворимых продуктов старения масла*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кича Геннадий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
Надежкин Андрей Вениаминович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»
Пак Николай Каптыгиевич, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.О. Токарев

STRENGTHENING MACHINE PARTS BY THE WEAR-RESISTANT COATINGS
Novosibirsk state academy of water transport
A.O. Tokarev

The "temperature - time" parameters of process of covering of a protective coating on steel are studied. The methods of gradient heating with application of power sources of high density are developed. It was possible to achieve such distribution of temperatures on cross-section, when in a layer of coating the dispersed solid phases are allocated, the pores are sphere off, the internal stresses are eliminated, but in base steel transformation of phases does not happen.

Keywords: repair, restoration, strain hardening surface, the sources of energy of the high concentration

Исследованы параметры «температура-время» процесса нанесения защитного покрытия на сталь. Разработаны методы градиентного нагрева с применением источников концентрированной энергии. Удалось добиться такого распределения температур по сечению, когда в слое покрытия выделяются дисперсные твёрдые фазы, поры округляются, внутренние напряжения устраняются. В структуре основного металла превращения фаз не происходит.

Проведённые исследования материалов и технологических процессов нанесения защитных и износостойких покрытий на детали машин свидетельствуют о том, что универсального метода поверхностного упрочнения не существует. При сравнительных испытаниях покрытий, полученных различными методами, расположение их в ряд по износостойкости и другим показателям надёжности существенно зависит от условий изнашивания. Исходя из этого, выбор материала для износостойкого покрытия определяется условиями эксплуатации деталей, а технология нанесения и дополнительной обработки покрытия – их конструктивно-технологическими особенностями.

Необходимость нанесения износостойких покрытий возникает при технической эксплуа-

тации механизмов для увеличения ресурса работы наиболее нагруженных деталей, а также при изготовлении новых деталей с повышенной износостойкостью. При этом детали, как правило, предварительно подвергаются объёмному термическому или термомеханическому упрочнению. В связи с этим в качестве критериев оптимизации при разработке и осуществлении технологических процессов упрочнения рабочих поверхностей деталей нанесением износостойкого покрытия установлены следующие условия «конструирования» структуры:

- Структура покрытия должна быть износостойкой;
- Переходная зона между основой и покрытием должна иметь достаточную адгезионную прочность и одновременно обладать вязкостью во избежание распространения трещин от поверхности к сердцевине;
- В основе детали изменения, происходящие при воздействии потока энергии в процессе нанесения покрытия, не должны ухудшать структуру и, следовательно – механические свойства.

Образование межатомных связей между материалами обрабатываемой детали и покрытия и отдельных частиц покрытия между собой, необходимое для высокой адгезионной и когезионной прочности соответственно, является термически активируемым процессом.

Если процесс нанесения покрытия сопровождается объёмным разогревом детали, то одновременно в структуре стальной основы происходит фазовая перекристаллизация, укрупнение зерна, диффузия элементов покрытия в основу. Всё это приводит к снижению прочности детали, а также к уменьшению твёрдости покрытия и снижению трещиностойкости переходной зоны.

Для сохранения или улучшения строения объёмно-упрочнённой основы детали термический цикл при воздействии на неё в процессе нанесения покрытия не должен по температурно-временным параметрам выходить за пределы кратковременного отпуска. Если основа содержит структурно свободный феррит, допускается нагрев в интервале температур A_{C1} – A_{C3} , обеспечивающий сохранение вязкой ферритной составляющей. Совмещение оптимальных термических циклов (интенсивное тепловое воздействие в зоне контакта покрытия с основой и умеренное воздействие на весь объём обрабатываемой детали) в одном технологическом процессе возможно при использовании источников энергии высокой концентрации.

Температурно-временные параметры кратковременного отпуска вносят особенности в протекание фазовых превращений, благоприятно сказывающиеся на свойствах сталей [1]. Быстрый нагрев влияет на процессы коагуляции карбидной фазы, обеспечивает образование очень мелких карбидных выделений.

Что касается структуры покрытий, то, отмечая эффективность обработки износостойких сплавов кратковременным высокоэнергетическим воздействием, обращают внимание на возможность существенного изменения структуры без изменения химического состава исходной порошковой шихты с сохранением наследственной мелкозернистости и дисперсности упрочняющих фаз. В данной работе

предпринята попытка использовать ещё одно существенное преимущество нагрева высококонцентрированными источниками энергии, а именно: градиент температур, возникающий

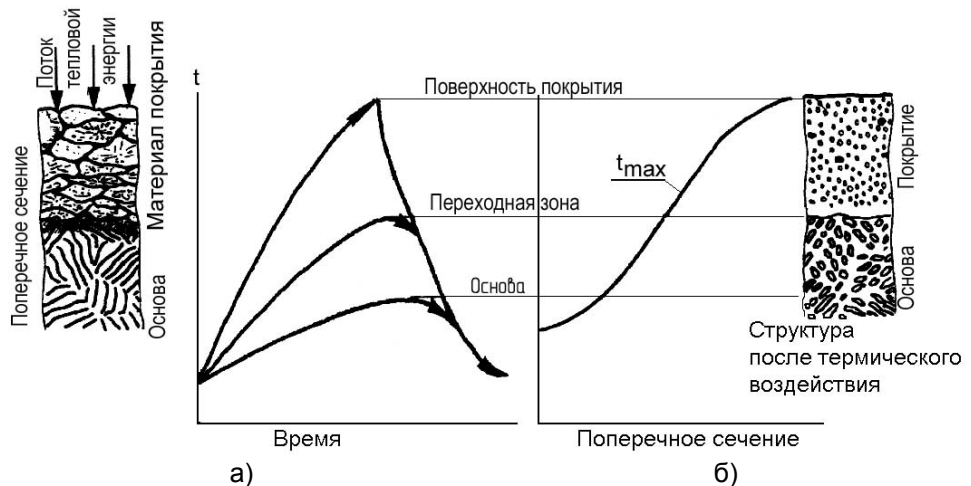


Рисунок 1 – Схема формирования структуры стали с износостойким покрытием при нагреве источниками энергии высокой концентрации: а)-изменение температуры в процессе нанесения покрытия на поверхности, в переходной зоне и в основном металле детали; б)-максимальная температура термического цикла наплавки в соответствующих сечениях

при их воздействии на поверхность. Управление этим градиентом путём изменения параметров обработки предоставляет новые возможности для формирования структур и свойств поверхностно упрочнённых сплавов. В частности, как показано на рисунке 1, обеспечить оптимальный режим термического воздействия, как на покрытие, так и на переходную зону и основу.

Общим требованием к условиям формирования покрытий при их нанесении и термообработке является получение структуры с дисперсными упрочняющими фазами, равномерно распределёнными в вязкой матрице, недопущение внутренних напряжений. При этом должна сохраняться наследственная мелкозернистость упрочняющих фаз.

Общие принципы выбора технологии комплексного упрочнения деталей машин представлены схемой на рисунке 2.

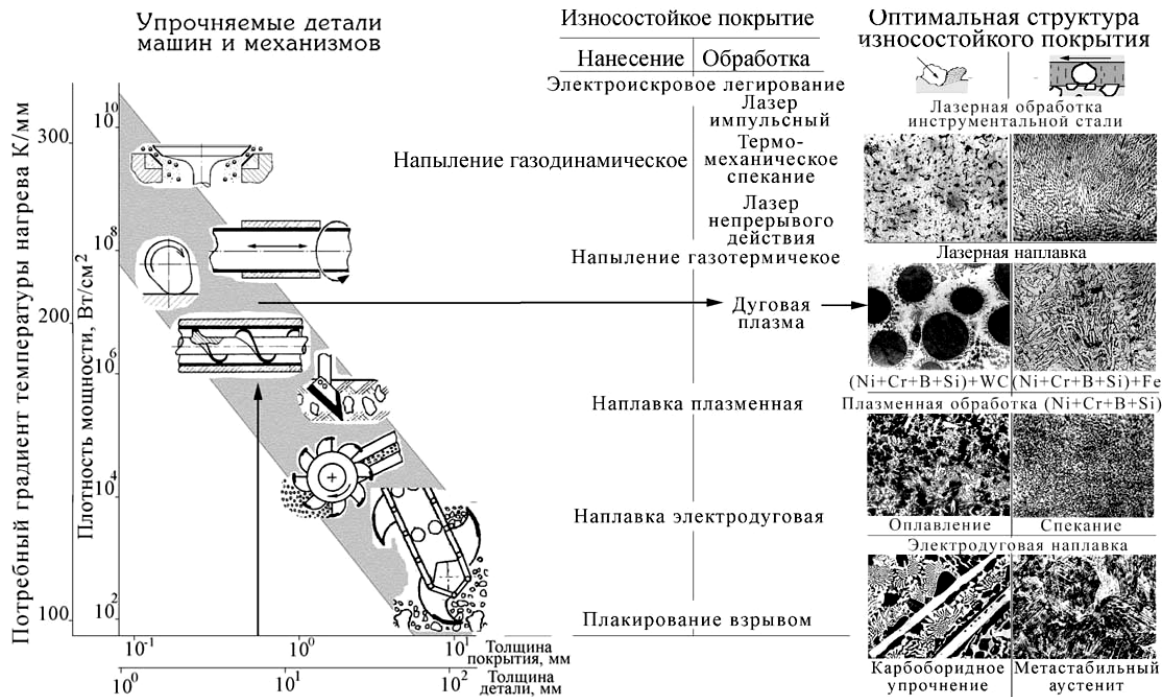


Рисунок 2 – Выбор технологии нанесения покрытий в зависимости от конструктивно-технологических параметров деталей машин

Изнашиваемые поверхности тяжело нагруженных крупногабаритных деталей, таких как рабочие органы карьерных, строительных и дорожных машин: зубья ковшей и роторы экскаваторов, бульдозерные и грейдерные отвалы, детали грейферов, ковши и черпаки плавучих земснарядов, а также детали бурильных установок, почвообрабатывающих машин и др. получают износ при эксплуатации порядка десятка миллиметров. Для восстановления и упрочнения таких поверхностей необходимо создавать достаточно высокую плотность мощности на поверхности возможно большей площади. Источниками энергии, обеспечивающими эти условия воздействия на обрабатываемую поверхность, являются сварочная дуга, дуговая плазма и газопламенный нагрев [2-3].

При электродуговой и плазменной наплавке износостойких покрытий управлять структурой получаемого композиционного материала в широких пределах путём регулирования параметров дуги не удаётся, поскольку диапазон параметров ограничен условиями устойчивого горения дуги и формирования валика сварного шва. Необходимая для надёжной работы деталей структура обеспечивается правильным выбором износостойких материалов. Поскольку перечисленные детали машин работают главным образом в условиях абразивного воздействия наиболее высокую износостойкость рабочих поверхностей можно получить, обеспечив заэвтектическую карбоборидную структуру износостойких покрытий [4].

При упрочнении деталей, работающих в условиях ударно-абразивного износа, следует во избежание образования микротрещин и их развития, приводящего к выкрашиванию крупных фрагментов покрытия, стремиться к получению структуры в виде тонкоразветвлённых карбоборидных эвтектик.

Для износостойкого покрытия сопряжённых поверхностей деталей, работающих в абра-

живной среде, таких, как пальцы гусеничных траков, черпаковых цепей земснарядов и цепей баровых машин, шкворни сидельно-сцепных устройств, замки железнодорожных и судовых сцепных устройств, различные оси и т.п. наиболее надёжны наплавленные покрытия со структурой нестабильных аустенито-карбидных и аустенито-мартенситных сплавов.

Для упрочнения поверхностей большой площади весьма эффективной является их облицовка аустенитной высокомарганцевой сталью с помощью сварки взрывом. При этом структурные изменения в основе сводятся к наклёпу на глубину 2-3 мм [5, 6].

Регулирование параметров нанесения и термообработки покрытий методами газотермического напыления и плазменной обработки позволяет осуществлять нагрев обрабатываемой поверхности со скоростью 40-45 К/с. Возникающий при этом градиент температур в сечении детали даёт возможность сохранить вязкие структурные составляющие в основе стали, тем самым, обеспечив высокую трещиностойкость зоны контакта основного металла с износостойким покрытием и, следовательно, детали в целом [6, 7]. Указанные технологии успешно реализованы для упрочнения поршневых пальцев, валов шестерённых, вихревых и других насосов, судовых гребных винтов и других деталей машин средних габаритов и массы порядка 10-100 кг.

Для градиентного нагрева изделий массой 1-10 кг необходимы источники энергии с высокой концентрацией плотности мощности. Кроме дуговой плазмы и сварочной дуги для обработки деталей средней массы таких, как цилиндрические втулки, клапаны, распределительные и коленчатые валы, валы шестерённых насосов и др. детали двигателей внутреннего сгорания, гребные винты судов, шнеки экструдеров, детали вентиляторов и задвижек, смесителей и мешалок, насосов и турбин и многих других эффективно могут применяться лучевые, в том числе лазерные методы обработки. При применении в качестве материалов износостойких покрытий самофлюсующихся сплавов их оптимальной структурой после обработки будет твёрдый раствор с равномерно распределёнными дисперсными карбоборидами или тонкой карбоборидной эвтектикой [6, 7].

Для местного упрочнения различных видов инструментов, элементов станочной и штамповой оснастки и других подобных деталей с высокой эффективностью применяются лазеры непрерывного и импульсного действия. Технология лазерного нанесения покрытий со свободной укладкой порошковой шихты обеспечивает возможности для упрочнения рабочих поверхностей деталей машин и инструмента самыми разнообразными материалами. Именно лазерная технология обеспечивает наиболее равномерное распределение компонентов композиционных порошковых покрытий. В частности существенного повышения износостойкости никель-хромовых покрытий удалось добиться армированием их тонкодисперсными частицами сфероидизированного релита (плавленого карбида вольфрама).

Наиболее подходящими технологическими процессами для обработки износостойких покрытий, нанесённых на поверхности тонкостенных деталей, являются нагрев в соляных ваннах, а также электроконтактный, индукционный нагрев и электроискровое поверхностное легирование.

Таким образом, использование для термической обработки покрытий плазменной струи, лазерного луча, электронного пучка и других источников концентрированной энергии позволяет достичь большой плотности энергии в пятне нагрева. Регулируя параметры энергетического воздействия, толщину, состав и состояние нанесённого покрытия, очевидно, можно добиться такого распределения температур по сечению, когда температура в слое покрытия будет обеспечивать условия его оплавления или спекания, а в основе вследствие градиента температур, будет иметь место кратковременный отпуск или неполная закалка.

Всё это при технологической реализации способствует созданию трещиностойкой структуры в зоне контакта покрытия с основой, а значит обеспечивает увеличение эксплуатационных показателей, осуществляет высокий уровень и культуру производства, автоматизацию процессов, исключение вредных выделений в окружающую среду.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Структура стальных сварных швов, формируемых с использованием источников энергии высокой концентрации / В.Г. Буров [и др.] // Докл. АН ВШ РФ. -2012. -№1(18). -С. 52-60.

2 Токарев, А.О. Наплавка износостойких покрытий на детали судовой техники электродами из нелегированного чугуна, подвергнутого термоциклической обработке / А.О. Токарев, В.Р. Исаенко, Ю.В. Охотко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2006. -№1. -С. 113-120.

3 Токарев, А.О. Наплавка серого чугуна с применением чугунной стружки в качестве присадочного материала / А.О. Токарев, В.Р. Исаенко, М.А. Колобердин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2008. -№2. -С. 169-172.

4 Исследование структуры порошковых покрытий из высокоуглеродистого легированного сплава, нанесённых плазмен-

ным напылением при восстановлении дисковых ножей / А.О. Токарев [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. - 2008. -№1. -С. 170-173.

5 Токарев, А.О. Анализ условий обеспечения жизненного цикла деталей судовой техники / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик // Реч. трансп. (XXI век). -2011. -№3. -С. 78-79.

6 Токарев, А.О. Анализ причин и профилактика аварий деталей судовой техники / А.О. Токарев, И.С. Иванчик, С.Н. Иванчик. -Новосибирск: Изд-во ФГОУ ВПО «НГАВТ», 2010. -250 с.

7 Методы исследования материалов. Структура, свойства и процессы нанесения неорганических покрытий / Л.И. Тушинский, А.В. Плохов, А.О. Токарев, В.И. Синдеев. -М.: Мир, 2004. -384 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: ремонт, восстановление, упрочнение поверхности, источники энергии высокой концентрации

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Токарев Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ВИБРОЗАЩИТНАЯ ПОДВЕСКА С ГИБКИМ ОСНОВАНИЕМ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.И. Ришко, А.М. Барановский

SUSPENSION PROTECTION VIBRATION FLEXIBLE BASE
Novosibirsk state academy of water transport
Yu.I. Rishko, A.M. Baranovskij

The question of the influence of the rigidity of base isolator with an array of elastic elements on its effectiveness. Represented by its dynamic model, the equations are written motion dynamics, are examples of solutions and some conclusions regarding this issue.

Keywords: vibration isolation, vibration insulator, vibration suspension bracket, vibration, noise

Рассмотрен вопрос влияния жесткости оснований виброизолятора с массивом упругих элементов на его эффективность. Представлена его динамическая модель, записаны уравнения динамики движения, показаны примеры решений и сделаны некоторые выводы, касательно данного вопроса.

В работах [2, 3] приводятся исследования виброизолирующих опор, в которых используются множественные упругие элементы, распределенные по поверхности. Показано, что такие подвески выгодно отличают от стандартных резинOMETаллических [1] ряд преимуществ. Важнейшие из которых – цельнометаллическая конструкция повышающая прочность, отсутствие эффекта старения, простота изготовления при равной сложности монтажа, сравнительная эффективность виброзащиты. Остановимся на исследовании возможных причин эффективности, указанных ранее в работе [4], а именно оценим влияние жесткости верхнего основания подвески на динамические силы, передаваемые на защищаемый объект (ЗО).

Рассмотрим одну из известных конструкций распределенной виброизолирующей опоры, выполненной в виде массива витых цилиндрических пружин между двумя жесткими основаниями (рисунок 1).

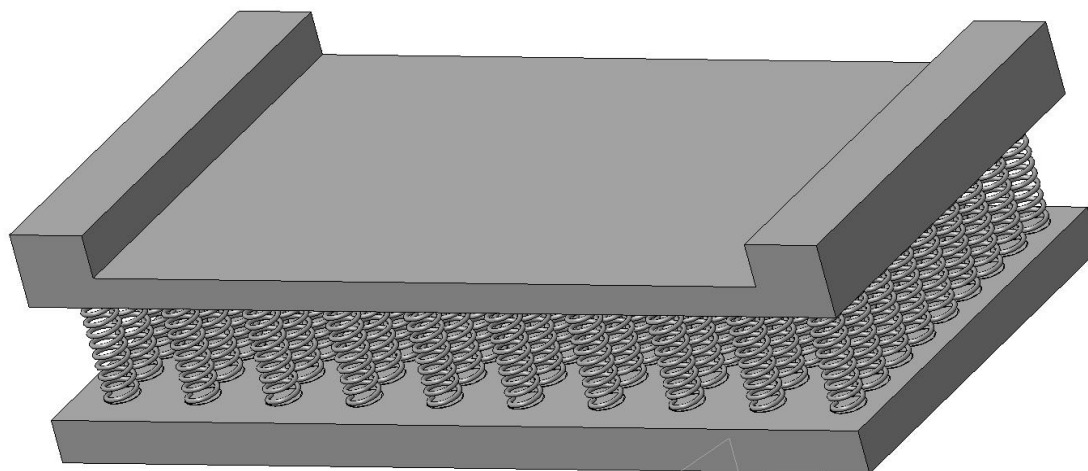
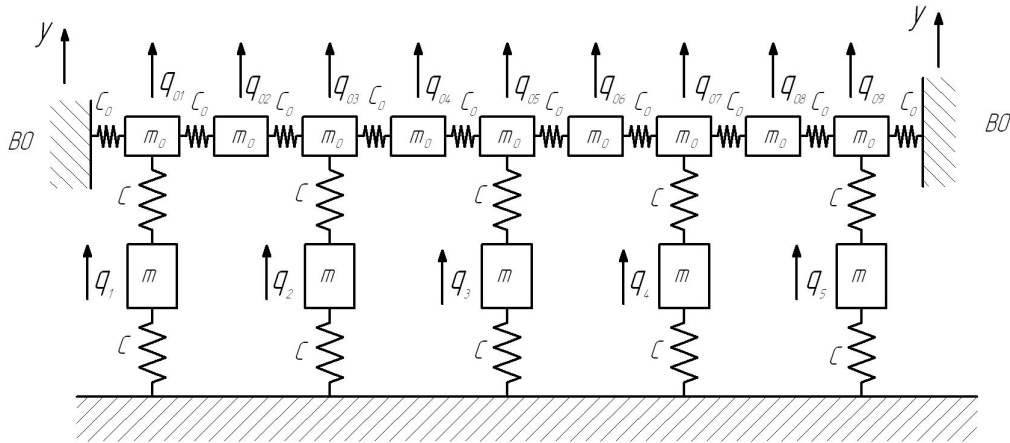


Рисунок 1 – Распределенная виброзащитная опора

На основании выводов, указанных в [3], динамическая модель такой опоры укажем в виде упруго-массовой системы (рисунок 2).



30

Рисунок 2 – Динамическая модель распределенной опоры

Тогда, при одноосных колебаниях вибрирующего объекта (ВО), все упругие элементы жесткостью (C) и массой (m), передадут усилие на 3О с учетом промежуточных масс (m_0) и жесткостей (C_0), моделирующих упругие свойства верхнего основания.

Уравнения динамики, описывающие данную модель, в случае 9-ти верхних и 5-ти нижних масс, будут выглядеть следующим образом:

$$q''_{01} = \frac{C_0 \cdot (y - q_{01}) + C_0 \cdot (q_{02} - q_{01}) + C \cdot (q_1 - q_{01})}{m_0}; \quad q''_{02} = \frac{C_0 \cdot (q_{01} - q_{02}) + C_0 \cdot (q_{03} - q_{02})}{m_0};$$

$$q''_{03} = \frac{C_0 \cdot (q_{02} - q_{03}) + C_0 \cdot (q_{04} - q_{03}) + C \cdot (q_2 - q_{03})}{m_0}; \quad q''_{04} = \frac{C_0 \cdot (q_{03} - q_{04}) + C_0 \cdot (q_{05} - q_{04})}{m_0};$$

$$q''_{05} = \frac{C_0 \cdot (q_{04} - q_{05}) + C_0 \cdot (q_{06} - q_{05}) + C \cdot (q_3 - q_{05})}{m_0}; \quad q''_{06} = \frac{C_0 \cdot (q_{05} - q_{06}) + C_0 \cdot (q_{07} - q_{06})}{m_0};$$

$$q''_{07} = \frac{C_0 \cdot (q_{06} - q_{07}) + C_0 \cdot (q_{08} - q_{07}) + C \cdot (q_4 - q_{07})}{m_0}; \quad q''_{08} = \frac{C_0 \cdot (q_{07} - q_{08}) + C_0 \cdot (q_{09} - q_{08})}{m_0};$$

$$q''_{09} = \frac{C_0 \cdot (q_{08} - q_{09}) + C_0 \cdot (y - q_{09}) + C \cdot (q_5 - q_{09})}{m_0}; \quad q''_1 = \frac{C \cdot (q_{01} - q_1) - C \cdot q_1}{m};$$

$$q''_2 = \frac{C \cdot (q_{03} - q_2) - C \cdot q_2}{m}; \quad q''_3 = \frac{C \cdot (q_{05} - q_3) - C \cdot q_3}{m};$$

$$q''_4 = \frac{C \cdot (q_{07} - q_4) - C \cdot q_4}{m}; \quad q''_5 = \frac{C \cdot (q_{09} - q_5) - C \cdot q_5}{m}.$$

где $q''_{01}, q''_{02}, \dots$ – ускорения масс m_0 (см. рисунок 2 – верхний ряд масс слева направо);

q''_1, q''_2, \dots – ускорения масс m (см. рисунок 2);

q_{01}, q_{02}, \dots – перемещения масс m_0 (см. рисунок 2 – верхний ряд масс слева направо);

q_1, q_2, \dots – перемещения масс m (см. рисунок 2).

Перемещения ВО зададим кинематически в виде периодической функции

$$y = A \cdot \sin(\omega \cdot t).$$

Соответственно скорость ВО определится как

$$v = A^2 \cdot \cos(\omega \cdot t).$$

Величину реакций на 3О со стороны отдельных упругих элементов можно определить по следующим формулам:

$$r_1 = C \cdot q_1; \quad r_2 = C \cdot q_2; \quad r_3 = C \cdot q_3; \quad r_4 = C \cdot q_4; \quad r_5 = C \cdot q_5.$$

Суммарная величина динамической силы, передаваемой на защищаемый объект, определится как

$$r = r_1 + r_2 + r_3 + r_4 + r_5.$$

Целью решения поставим определение динамических сил, действующих на 3О, в случае изменения жесткости верхнего основания. Жесткость зададим разными значениями вы-

шеуказанного параметра C_0 , который будет меняться (рисунок 3).

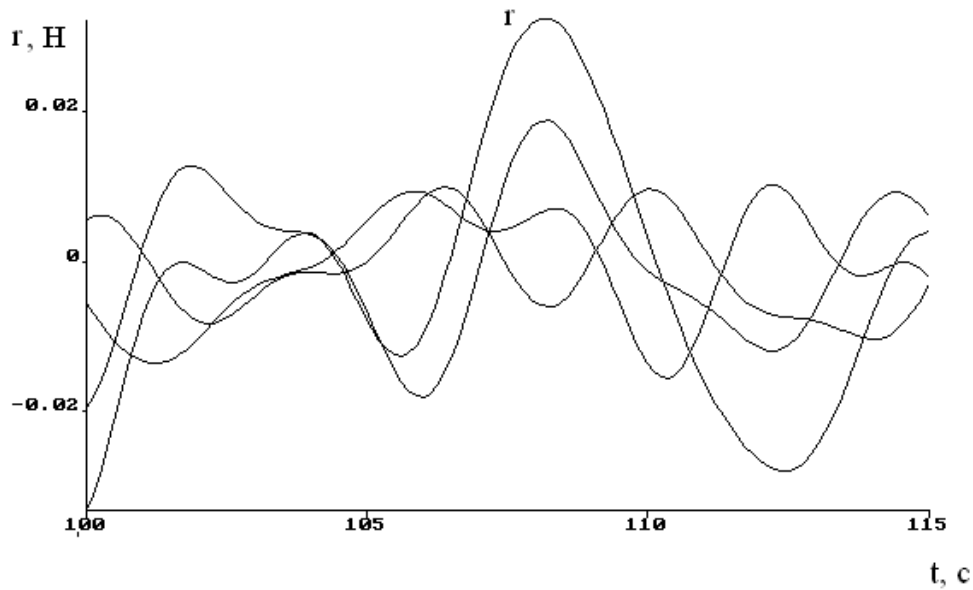


Рисунок 3 – Динамические силы, передающиеся на ЗО при величине $C_0 = 1 \text{ Н/м}$

Приведенные уравнения динамики были решены в программе Simnon. К примеру, если жесткости упругих элементов подвески (рисунок 2) будут равны ($C = 1$), амплитуда колебаний ВО $A = 1 \text{ м}$; суммарная сила, передающаяся на ЗО, в случае абсолютно жесткого верхнего основания при статических смещениях, будет составлять 2,5 Н. Для тех же параметров колебаний, при уменьшении жесткости до 1 Н/м, величины динамических сил уменьшаются в десятки раз (рисунок 3). При возрастании жесткости до 20 Н/м, картина колебаний возмущающей силы изменяется в сторону снижения эффективности (рисунок 4).

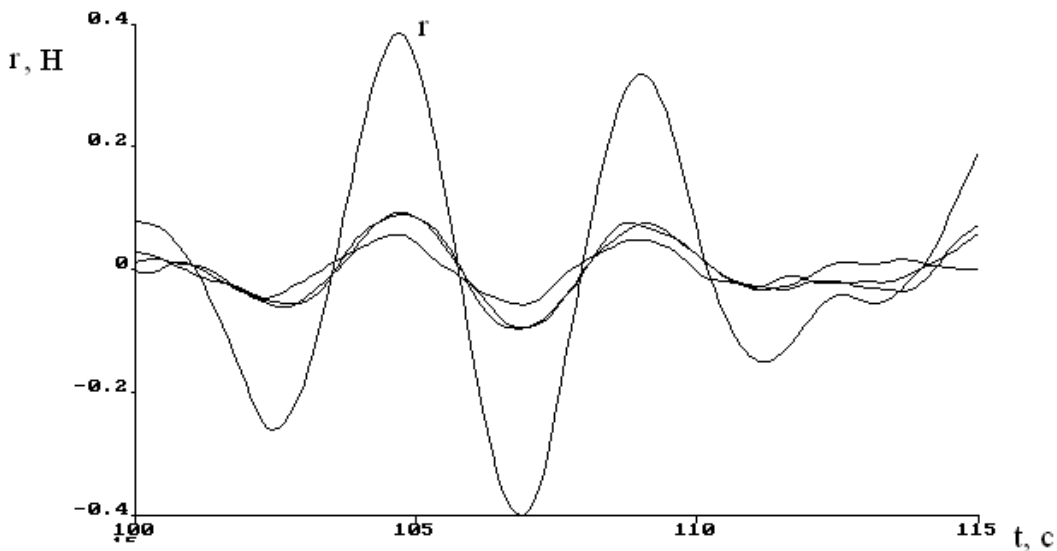


Рисунок 4 – Динамические силы, передающиеся на ЗО при величине $C_0 = 20 \text{ Н/м}$

Зависимость суммарной возмущающей силы r от жесткости упругого основания показана на рисунке 5.

Из графика видно, что импульсы, передающиеся с различных пружин подвески (r_1, r_2, r_3, r_4, r_5) не совпадают по фазе и суммарная сила r , передающаяся на защищаемый объект, оказывается значительно меньшей суммы их абсолютных величин.

Вышеизложенный результат позволяет сделать вывод, что гибкое основание под действием вынужденных колебаний испытывает волновые процессы, что вызывает разнофазовые реакции в отдельных упругих элементах подвески. Изменяя жесткость верхнего основа-

ния, удается управлять эффективностью виброизоляции путем смещения собственных частот в сторону понижения.

Очевидно, в реальных подвесках, существуют границы повышения эффективности таким способом, связанные в первую очередь с прочностью конструкции и необходимостью обеспечения значительной общей жесткости, особенно в условиях судовой виброзащиты. Потому при дальнейших исследованиях необходимо установить связь между общей жесткостью подвески и жесткостью ее оснований.

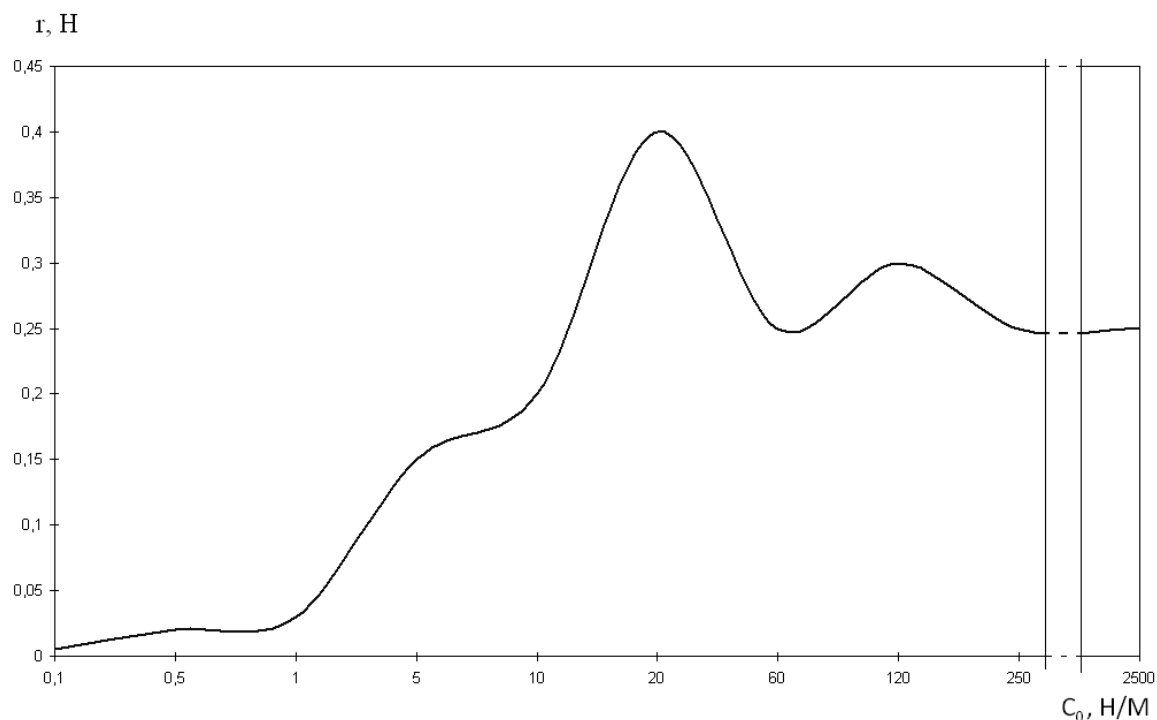


Рисунок 5 – Влияние жесткости верхнего основания на эффективность виброизоляции

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вибрации в технике. Защита от вибрации и ударов: Справочник / Под ред. К.В. Фролов. -М, Машиностроение, 1981. Т.6, -322 с.
- 2 Потянихин, А.Н. Проблемы снижения структурной вибрации речных судов / А.Н. Потянихин, М.К. Романченко, А.М. Барановский // Судостроение. -2009. -№4, -С. 48-49
- 3 Барановский, А.М. Защита корпуса от структурной вибрации / А.М. Барановский, М.А. Федосеева // Научн. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2011. -№2, -С. 167-169.
- 4 Ришко, Ю.И. Исследование эффективности распределенного виброизолятора / Ю.И. Ришко // Научн. проблемы трансп. Сибири и Дальнего Востока. -2012. -№2, -С. 203-206

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброизоляция, виброизолятор, виброзащитная подвеска, вибрация, шум

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ришко Юрий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Барановский Александр Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ СУДОВЫХ ПАЛУБНЫХ МНОГОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков

STUDY ON OPERATIONAL MODE OF SHIP'S DECK MULTISPEED ELECTRIC DRIVES

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

A.F. Burkov

The article provides information on research of operating modes of ship electric multispeed

Keywords: multiple speed electric drive, the ship's anchor-mooring machinery, lifting device

Приведены сведения по исследованиям эксплуатационных режимов судовых многоскоростных электроприводов

К судовым палубным многоскоростным электроприводам (ЭП) в первую очередь относятся ЭП якорно-швартовых механизмов (ЯШМ) грузоподъемных механизмов (ГПМ). Рассматриваемые палубные ЭП относятся к регулируемым судовым ЭП второй и третьей групп и отличаются более тяжелыми условиями пуска, торможения, необходимостью изменения скорости в процессе работы, повышенной частотой включений [1]. Условия их работы и предъявляемые к ним требования имеют существенные различия.

Исходя из функционального назначения, характерными эксплуатационными особенностями судовых ЭП ЯШМ являются: режимы, близкие к S2 рекомендованной продолжительности 30 мин.; знакопеременные нагрузки ИД и широкий диапазон их изменения (от 30% до 200% номинальной); возможность стоянки ЭД под током до 1,0 мин.; относительно частые пуски и электрические торможения ЭД (до 120 в течение часа). Суммарное число часов работы ЯШМ в год лежит в пределах 100-200 при 1200-1500 циклах «включение-отключение» механизмов [2]. Годовая наработка ЭП ЯШМ составляет: 40-80 часов – брашпильей, с учетом швартовых операций; 30-50 часов – швартовых шпилей и швартовых лебедок. Для транспортных судов годовая наработка ЭП брашпильей составляет 30-80 часов, а швартовых шпилей – 30-60 часов.

В режимах работы ЭП ЯШМ (брашпильей) судов рыбного флота значимых отличий от работы ЭП брашпильей транспортных судов не отмечено. Ориентировочное среднегодовое время работы ЭП брашпильей ПЗ и УПБ составляет 30 ч, а ТР – до 40 ч [1].

К характерным особенностям эксплуатации ЭП судовых ГПМ относятся, как правило: широкий диапазон изменения знакопеременных нагрузок ИД, определяемых массами перерабатываемых грузов (от холостого хода до 100% номинальной); частые пуски и электрические торможения ЭД (более 120 в течение часа).

На рисунке 1 представлены осциллограммы $i_s = f(t)$ и $\omega_r = f(t)$ [3] цикла работы трехскоростного асинхронного двигателя (АД) немецкого производства типа «DKO 470b-32/8/4M» при «быстром» переводе рукоятки командоконтроллера по алгоритму «0»→«3 скорость (подъем)»→«3 скорость (спуск)»→«0».

СУ ЭП при «быстром» переводе рукоятки командоконтроллера обеспечивает разгон АД в одном направлении вращения в три ступени, реверс на противоположное направление в пять ступеней и остановку в две ступени. Время цикла t_u определяется как

$$t_u = t_{n\Sigma} + t_{c\Sigma} \quad (1)$$

где $t_{n\Sigma}, t_{c\Sigma}$ – время работы ЭП в режиме «подъем» и режиме «спуск», соответственно.

Осциллограммы (см. рисунок 1) позволяют выделить следующие временные интервалы: t_{pi} - времена работы при разгонах ЭД, ($i = 1, \dots, 5$); t_{ni} - времена работ ЭД на различных скоростях в режиме «подъем», ($j = 1, \dots, 3$); t_{mk} - времена торможений ЭП, ($k = 1, \dots, 4$); t_{cj} - времена работ ЭД на различных скоростях в режиме «спуск» ($j = 2, 3$).

Таким образом, при работе ЭП:

– в режиме «подъем»

$$t_{n\Sigma} = \sum_{i=1}^l t_{pi} + \sum_{j=1}^m t_{nj} + \sum_{k=1}^n t_{mk}, \quad (2)$$

где $l = 3; m = 3; n = 2;$
– в режиме «спуск»

$$t_{c\Sigma} = \sum_{i=4}^l t_{pi} + \sum_{j=2}^m t_{cj} + \sum_{k=3}^n t_{mk}, \quad (3)$$

где $l = 5; m = 3; n = 4.$

По данным осциллограмм система управления ЭП ГПМ обеспечивает минимальное время цикла $t_{\text{мин}}$, равное 13,1 с, причем $t_{n\Sigma} = 7,1$ с, а $t_{c\Sigma} = 6,0$ с. Время динамических режимов соизмеримо со временем статических режимов и составляет 4,9 с (в режиме «подъем» – $t_{p\Sigma} = 1,4$ с, $t_{m\Sigma} = 1,5$ с; в режиме «спуск» – $t_{p\Sigma} = 1,0$ с, $t_{m\Sigma} = 1,0$ с).

Параметры циклов ЭП ГПМ в процессе погрузочно-разгрузочных операций не остаются постоянными и зависят от режимов работы (одиночная, спаренная на общий гак или парно-последовательная работа), типов, массо-размерных показателей и мест расположения перерабатываемых грузов и пр.

Средняя рабочая длина шкентеля за цикл L_u может быть определена как

$$L_u = \sum_{i=1}^n v_{cpi} t_{cpi}, \quad (4)$$

где i, n – порядковый номер и число скоростей многоскоростного ЭП, соответственно;
 v_{cpi} – средняя скорость шкентеля на i -й скорости;
 t_{cpi} – среднее время работы ЭП на i -й скорости.

На рисунке 2 представлены ориентировочные графики зависимостей $k_{\text{уп}i} = f(L_u)$ и $k_{\text{уп}\Sigma} = f(L_u)$ ЭП ГПМ. Зависимости 1 соответствуют работе ЭП на первых скоростях, 2 – на вторых, 3 – на третьих и 4 – результирующие зависимости $k_{\text{уп}\Sigma} = f(L_u)$.

Согласно рисунку 2 $k_{\text{уп}\Sigma}$ ЭП ГПМ изменяется в ориентировочных пределах 84-94%, а у судовых ЭП механизмов подъема грузовых кранов $k_{\text{уп}\Sigma} = 36-59\%$.

За цикл работы ЭП происходит неоднократное включение АД. В общем случае число включений за цикл Z_u многоскоростных ЭП механизмов подъема ГПМ можно определить по формуле [4]

$$Z_u = Z_m + \frac{k_{z1} \sqrt[3]{\Delta v} \cdot v_n (k_{z2} v_n - \sqrt[3]{h})}{h^{3/2}} + [1 + k_{z3} \sqrt[3]{\Delta v} \cdot k_m \beta]. \quad (5)$$

где Z_m – количество технологических включений ЭП;
 k_{z1}, \dots, k_{z3} – коэффициенты пропорциональности;
 Δv – показатель статической плавности регулирования;
 v_n – номинальная скорость;
 h – путь перемещения груза по траектории;
 k_m – коэффициент, определяемый типом груза;
 β – жесткость доводочной механической характеристики.

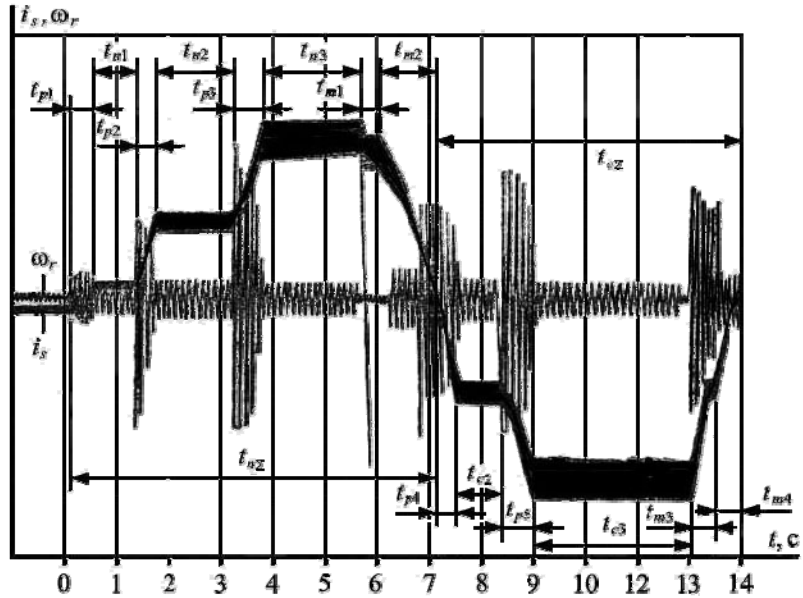


Рисунок 1 – Осциллограммы цикла работы трехскоростного АД типа «DKO 470b-32/8/4M» ЭП ГПМ: i_s – ток статора АД; ω_r – угловая скорость ротора

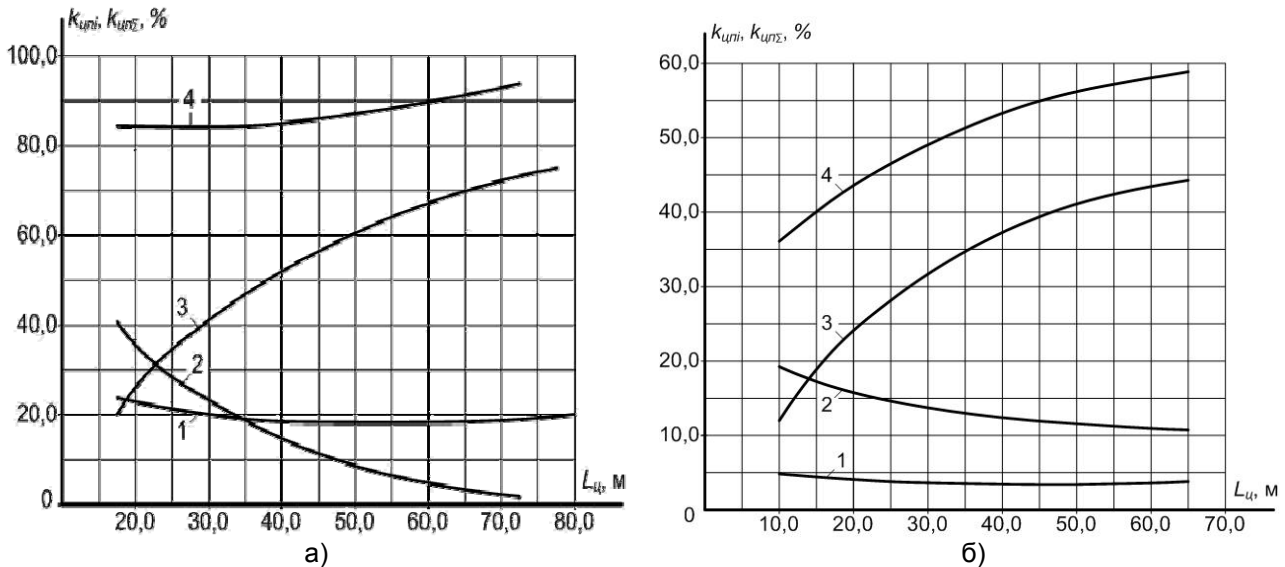


Рисунок 2 – Графики зависимостей $k_{унт} = f(L_{ц})$ и $k_{унз} = f(L_{ц})$: а)-ЭП грузовых лебедок; б)-ЭП грузовых кранов

У немецких трехскоростных АД типа «АНЛЛ 359-28/8/4» ЭП грузовых лебедок число включений за цикл $Z_{ц}$ составляет более 20 раз, причем до 50% включений ЭД приходится на первую скорость – см. рисунок 2а. У судовых ЭП механизмов подъема грузовых кранов (см. рисунок 3) $Z_{ц} \geq 30$ [3]. По данным, приведенным в [5], режим работы ЭП ГПМ сопровождается включениями АД до 500 в час и более.

Интенсивность работы ЭП ГПМ характеризуется количеством рабочих циклов в единицу времени. У ЭП механизмов подъема ГПМ число $N_{ц}$ может достигать 50 и более циклов в час.

По сведениям, приведенным в [1], для транспортных судов торгового флота годовая наработка ЭП грузовых кранов составляет 400-600 ч, а грузовых лебедок – 600-1000 ч. По данным «ЦНИИМФ» средняя годовая продолжительность использования ГПМ лежит в пределах 400-700 ч, причем меньшие значения времени относятся к грузовым кранам, расположенным на судах в две линии. В некоторых случаях продолжительность использования ГПМ достигает до 2000 ч в год. В условиях хорошо организованных погрузочно-разгрузочных работ общая продолжительность пауз составляет 5-50% от суммарного времени циклов. В этих случаях время работы ЭП составляет 95-50% от общего времени грузовых операций, соответственно.

Таким образом, ЭП ЯШМ работают в режимах, близких к нормируемым. Режимы работы ЭП ГПМ могут значительно превышать нормируемый режим S3, максимальное значение которого составляет 60%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бурков, А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -417 с.
- 2 Бурков, А.Ф. Анализ эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков // Исследования мирового океана: материалы междунар. науч. конф. / Дальрыбвтуз. -Владивосток, 2008. -С. 244-247.
- 3 Марков, А.П. Эксплуатация электроприводов палубных механизмов / А.П. Марков, Е.А. Калязин, Ф.П. Евшин. -М.: Транспорт, 1976. -200 с.
- 4 Судовые электроприводы. В 2 т. Т.2: справочник / А.П. Богословский [и др.]; ред. А.К. Юдин. -Изд. 2-е, перераб. и доп. - Л.: Судостроение, 1983. -384 с.
- 5 Васильев, В.Н. Эксплуатация судовых электроприводов: справочник / В.Н. Васильев, Н.Я. Карауш. -М.: Транспорт, 1985. -280 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой многоскоростной электропривод, якорно-швартовный механизм, грузоподъемный механизм*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет
им. адм. Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков

ANALYSIS OF OPERATING EXPERIENCE OF SHIP'S ELECTRIC DRIVES
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
A.F. Burkov

In the article the results of research on operating experience of ship's electric drives.

Keywords: the ship's electric drive, induction motor, statistical data, malfunction

Приведены результаты исследований опыта эксплуатации судовых электроприводов.

Современные суда оснащены разнообразными электроприводами (ЭП), общее количество которых составляет сотни единиц. Судовые ЭП представляют собой относительно сложные технические системы.

В соответствии с разработанной классификацией [1] судовые ЭП по режимам работы можно объединить в три основные группы.

Первая группа включает в себя ЭП режимов работ, близких к условным обозначениям S1 и S6 (рулевые ЭП, ЭП топливных, масляных, охлаждающих насосов и т. д.). Требования, предъявляемые к таким ЭП, определяются в зависимости от их функционального назначения.

Ко второй группе относятся ЭП режимов работ, соответствующих преимущественно условному обозначению S2 (ЭП грузоподъемных механизмов (ГПМ) общесудового назначения – траповых и шлюпочных лебедок и пр., ЭП якорно-швартовых механизмов (ЯШМ) – брашпильей, шпилей, швартовых лебедок) и др. Требования, предъявляемые к ЭП ЯШМ, нормирует Российский морской регистр судоходства.

Третья группа включает в себя ЭП режимов, близких к режимам с условными обозначениями S3, S4, S5, S9 и S10. Отдельную подгруппу третьей группы составляют ЭП ГПМ (грузовых лебедок, кранов и др.), ЯШМ (автоматических швартовых лебедок и пр.) и др.

Отличительной эксплуатационной особенностью многих ЭП третьей группы является соизмеримость по времени переходных и установившихся режимов работы.

Характерной эксплуатационной особенностью судовых ЭП являются повышенные трудозатраты на их техническое обслуживание (ТО) ЭП (по данным, приведенным в [2], для судов серии «Капитан Гаврилов» – 36,5% от общего объема трудозатрат на ТО судового электрооборудования (СЭО), причем между ЭП первой, второй и третьей групп их распределение различное.

Результаты статистических исследований представлены на рисунке 1. Объем выборки составил 87 судов торгового и рыбного флота.

Судовые ЭП первой группы и нерегулируемые ЭП второй группы включают, как правило, трехфазные асинхронные двигатели (АД) и относительно простые системы управления (СУ), основными элементами которых являются контакторы и реле защиты.

При разукрупнении судовые ЭП могут быть представлены тремя основными составными частями – АД, СУ и механическими преобразователями.

В таблице приведены данные по долевым соотношениям основных отказов (коэффициентам отказов K_o) между компонентами судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы.

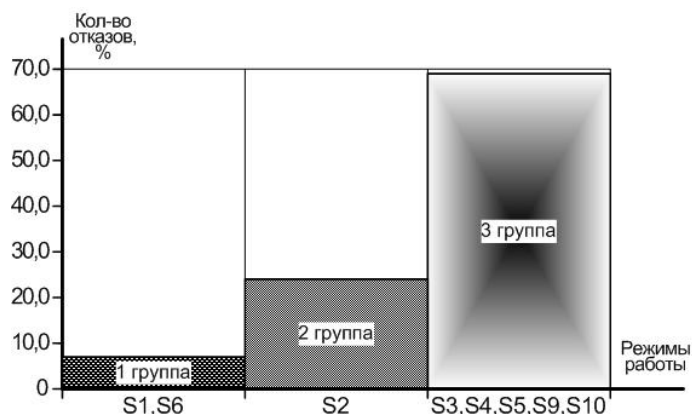


Рисунок 1 – Гистограмма ориентировочных соотношений между отказами судовых ЭП основных типовых режимов работы

Согласно данным таблицы наибольшее число отказов ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы приходится на релейно-контакторные схемы управления, основными компонентами которых являются контакторы, реле и кнопки управления, причем более 50% отказов приходится на контакторы.

Таблица – Долевые соотношения коэффициентов отказов между компонентами судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы

| Компоненты ЭП | Долевые соотношения отказов K_o , % |
|--|---------------------------------------|
| Релейно-контакторные СУ | 42 |
| Электромеханические преобразователи (АД) | 39 |
| Прочие | 19 |

В процессе эксплуатации ЭП имеют место как внезапные, так и постепенные независимые отказы контакторов. Внезапные отказы релейно-контакторных схем управления ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы, обусловленные в первую очередь обрывами обмоток электромагнитных механизмов и механическими повреждениями, составляют до 10% от общего числа отказов контакторов и относятся к производственным отказам. До 90% отказов контакторов являются постепенными независимыми и связаны с электрическим износом (обгоранием) контактов и сгоранием обмоток электромагнитных механизмов, причем между собой обгорания контактов и сгорания катушек распределяются в примерном соотношении 8:1, соответственно. Постепенные независимые отказы контакторов относятся к производственным или эксплуатационным отказам.

Отказы реле и кнопок управления распределены между собой ориентировочно как 9:1.

По данным, приведенным в [2], у электрических аппаратов около 60% приходится на контакты, а остальные 40% распределяются примерно поровну между обмотками и механическими частями.

Большинство отказов АД, используемых в ЭП различных отраслей, по статистическим данным, приведенным в [3], происходит из-за повреждения обмоток – 85-95%. У двигателей со всыпными обмотками их повреждения приводят к необходимости их перемотки. Отказы АД мощностью более 5 кВт из-за повреждения обмоток распределяются следующим образом: межвитковые замыкания – 93%; пробой междуфазной изоляции – 5%; пробой пазовой изоляции – 2%. Ориентировочно до 8% отказов АД приходится на подшипниковые узлы. К остальным отказам относится распайка выводных проводов, обрыв стержней ротора и др. Около 35% отказов двигателей случается по технологическим причинам, 50% – по эксплуатационным. До 15% отказов происходит вследствие несоответствия конструктивного исполнения АД условиям эксплуатации.

Примерные соотношения K_o основных причин отказов АД судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы (см. таблицу) представлены на рисунке 2. Объем выборки составил 658 АД отечественного и зарубежно-го производства.

Применительно к рисунку 2 неисправности АД означают их отказы. Основными отказами являются снижения сопротивления изоляции обмоток ниже допустимых норм, составляющие около 40% от всех отказов АД. Снижения сопротивления изоляции обмоток двигателей ниже допустимых норм обусловлены необратимыми изменениями структурного и механического составов изоляционных материалов обмоток, происходящими под действием производственных (нарушение техноло-

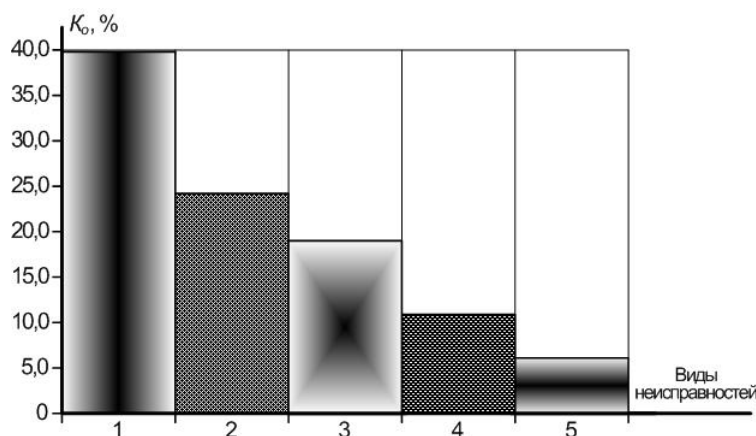


Рисунок 2 – Примерные соотношения K_o основных неисправностей АД судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы: 1-снижения сопротивления изоляции обмоток ниже допустимых норм; 2-пробой электрической изоляции на корпусе, межвитковые замыкания; 3-выгорания витков обмоток; 4-обрывы обмоток; 5-повреждения подшипников и их посадочных мест

гического процесса ремонта и т.д.) или эксплуатационных (влажности, вибрации и т.п.) факторов.

Снижения сопротивления изоляции обмоток АД ниже допустимых норм, как и повреждения подшипников и их посадочных мест (см. рисунок 2), относятся к постепенным независимым производственным или эксплуатационным отказам.

Основными общими причинами пробоев электрической изоляции на корпус, межвитковых замыканий, выгораний витков обмоток и обрывов обмоток судовых АД являются низкое качество изготовлений или ремонтов, конструктивные недостатки и пр.

Пробой электрической изоляции на корпус, межвитковые замыкания, выгорания витков обмоток и обрывы обмоток АД относятся к внезапным независимым конструкционным, производственным или эксплуатационным отказам.

По данным таблицы до 19% отказов ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы приходится на долю МП, механических и электрических соединений и пр. Эти отказы носят разнообразный характер и относятся преимущественно к постепенным (отказы подшипников МП и пр.) или к внезапным (обрывы жил соединительных кабелей и т.д.) независимым производственным или эксплуатационным отказам.

В состав большинства нереверсивных нерегулируемых судовых ЭП третьей группы (гидрофоров, компрессоров и др.) кроме односкоростных АД и магнитных пускателей входят, как правило, элементы, обеспечивающие их автоматическую работу (реле давления, уровня и др.). Число отказов на один технический объект нереверсивных нерегулируемых судовых ЭП третьей группы приблизительно на 25% больше по отношению к нерегулируемым ЭП второй группы.

Несмотря на имеющиеся случаи отказов судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы (таблица), техническая эксплуатация таких ЭП в основном не вызывает затруднений. Минимальное число компонентов СУ и легкие условия работы ЭП в переходных режимах предопределили их высокую надежность (см. рисунок 1).

Кроме того, высокая надежность судовых ЭП первой группы и нерегулируемых ЭП второй группы, преимущественно рулевых ЭП, ЭП топливных насосов, масляных насосов и др. обусловлена их резервированием.

Общими конструктивными особенностями регулируемых судовых ЭП второй и третьей групп (ЭП ЯШМ и ГПМ) являются сходство схемных решений СУ, наличие пристроенных к АД электромагнитных тормозов нормально заторможенного типа и др.

К общим эксплуатационным особенностям ЭП ЯШМ и ГПМ относятся практически одни и те же климатические нагрузки (влияние температуры, влажности, солнечной радиации и т. д.), изменение скорости, реверсы, необходимость саморегулирования угловой скорости АД при изменении момента сопротивления на его валу и пр.

Основными техническими и эксплуатационно-экономическими требованиями, предъявляемыми к ЭП ЯШМ и ГПМ, являются: повышенная надежность; простота и удобство обслуживания; высокая производительность выполняемых операций; необходимый диапазон изменения рабочих скоростей, достаточный для оперативной и безопасной работы; минимальная мощность ЭП и расход электроэнергии; низкие стоимостные и массо-размерные показатели.

С целью определения работоспособности основных компонентов палубных ЭП (ЯШМ и ГПМ) и их элементов произведен сбор и анализ статистического материала по многоскоростным ЭП судов различного назначения, эксплуатируемых в Дальневосточном бассейне [2].

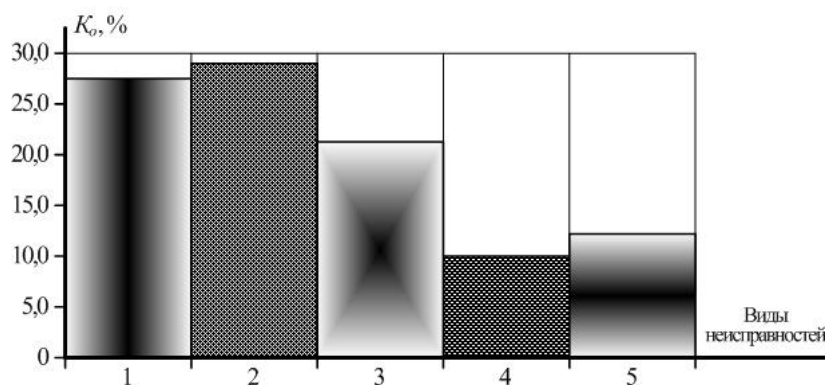


Рисунок 3 – Примерные соотношения K_o основных причин отказов многоскоростных АД судовых ЭП второй и третьей групп: 1-снижения сопротивления изоляции обмоток ниже допустимых норм; 2-пробой электрической изоляции на корпус, межвитковые замыкания; 3-выгорания витков обмоток; 4-обрывы обмоток; 5-повреждения подшипников и их посадочных мест

Примерные соотношения K_0 основных причин отказов многоскоростных АД судовых ЭП приведены на рисунке 3. Объем выборки составил 347 многоскоростных АД отечественного и зарубежного производства.

Выполненный анализ опыта эксплуатации позволяет сделать вывод о сравнительно низкой надежности судовых многоскоростных ЭП палубных механизмов (ЯШУ и ГПМ).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бурков, А.Ф. Классификация судовых электроприводов / А.Ф. Бурков // Проблемы транспорта Дальнего Востока: материалы восьмой междунар. науч.-практ. конф. / Дальневосточ. отд-ние Рос. акад. трансп. -Владивосток, 2009. -С. 148-149.
- 2 Бурков, А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -417 с.
- 3 Гольдберг, О.Д. Надежность электрических машин / О.Д. Гольдберг, С.П. Хелемская. -М.: Академия, 2010. -288 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *судовой электропривод, асинхронный двигатель, статистические данные, отказы*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»*

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

А.Ф. Бурков

FEATURES OF RELIABILITY CALCULATION OF SHIP'S ELECTRIC DRIVES
 Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
 A.F. Burkov

This article describes the features of calculating reliability of ship's electric drives.

Keywords: random variables, the reliability, the ship's electric drive, malfunction

Рассмотрены особенности расчетов показателей надежности судовых электроприводов.

Процесс функционирования судовых электроприводов (ЭП) состоит из потока случайных событий, происходящих под воздействием достаточно большого числа различных факторов. Случайные события характеризуются случайными величинами. При использовании теории надежности для количественных характеристик надежности судовых ЭП, компонентов и их элементов, к основным случайным величинам фазового пространства состояний системы относятся их работоспособные состояния и отказы.

В общем случае

$$Y(t) = \begin{cases} Y, & (t \in x_{pi}); \\ \bar{Y}, & (t \in x_{oj}). \end{cases} \quad (1)$$

где $Y(t)$ – неопределенное текущее состояние ЭП в момент времени t ;

Y – работоспособные состояния ЭП;

x_{pi} – длительность i -го работоспособного состояния ЭП ($i = 1, 2, \dots, k$);

\bar{Y} – неработоспособные состояния ЭП;

x_{oj} – длительность j -го отказа ЭП ($j = 1, 2, \dots, \ell$);

k, ℓ – суммарное число работоспособных состояний и отказов ЭП в жизненном цикле, соответственно).

Случайные величины можно условно подразделить на дискретные и непрерывные. К дискретным случайным величинам относятся внезапные отказы, характеризующиеся скачкообразным изменением значений одного или нескольких заданных параметров. При непрерывных случайных величинах изменение значений параметров приводит к постепенным отказам.

Наиболее полными характеристиками случайных величин являются законы их распределения, устанавливающие связи между возможными значениями случайных величин и соответствующими им вероятностями [1].

Решение задач надежности судовых ЭП обусловлено определением номенклатуры и

целесообразных значений показателей надежности. При оценке показателей надежности судовых ЭП по имеющимся данным опыта эксплуатации необходимо учитывать особенности, к основным из которых относятся следующие:

- в связи с ограниченным числом объектов наблюдений и относительно небольшими сроками эксплуатации приходится иметь дело с совокупностью судов, а, следовательно, учитывать возможность изменения объектов наблюдений за время эксплуатации;
- по эксплуатационно-технической документации и другим источникам статистических материалов [2] для большей части судовых ЭП можно установить лишь общее число отказов за определенный временной промежуток, а не промежуток времени между отказами;
- большинство компонентов судовых ЭП и их элементов при их отказах или ремонтируются или заменяются;
- при отказах некоторых компонентов или их элементов вместе с ними иногда заменяются и исправные;
- у ряда компонентов судовых ЭП или их элементов отказы могут возникать как при работе, так и в нерабочем состоянии.

Указанные особенности затрудняют количественную оценку надежности судовых ЭП и препятствуют рецептурному предложению методик.

Рекомендации по нормируемым показателям надежности судового электрооборудования (СЭО) приведены в [3], согласно которым в номенклатуру количественных показателей надежности включаются показатели, наиболее полно характеризующие надежность СЭО, в том числе судовых ЭП, и поддающиеся инженерным расчетам. Номенклатура нормируемых показателей надежности определяется в зависимости от класса, временного режима эксплуатации, группы надежности и принципа ограничения длительности использования.

Расчет надежности судовых ЭП, как восстанавливаемых изделий, осуществляется исходя из следующих соображений. Эксплуатация исправного изделия начинается в момент времени $t = 0$. По истечении случайного временного интервала t_i ЭП выходит из строя и в течение случайного времени τ_j выполняются мероприятия по восстановлению его работоспособного состояния. Этот процесс продолжается до списания изделия. Случайные величины t_i и τ_j независимы ($i = 1, 2, \dots, k$; $j = 1, 2, \dots, \ell$).

Для расчетов надежности необходима структурная модель судового ЭП. Исходя из того, что отказ любого структурного звена приводит к отказу ЭП, модель надежности должна включать последовательно соединенные элементы и может быть представлена в следующем виде – рисунок 1.

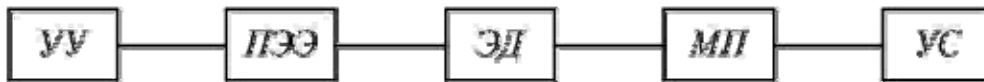


Рисунок 1 – Структурная модель надежности судового ЭП: УУ-управляющее устройство; ПЭЭ-преобразователь электрической энергии; ЭД-электродвигатель; МП-механическая передача; УС-устройства сопряжения ЭП [4]

Модель надежности ЭП (см. рисунок 1), включает в себя пять основных элементов.

С учетом (1) фазовое пространство состояний ЭП, как восстанавливаемой системы, в общем случае может быть описано следующим образом:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_2 &= (\bar{Y}_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, \bar{Y}_{УС}); \\
 \bar{Y}_3 &= (Y_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_4 &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_5 &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_6 &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, \bar{Y}_{УС}); \\
 \bar{Y}_7 &= (\bar{Y}_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_8 &= (Y_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_9 &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_{10} &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, \bar{Y}_{УС}); \\
 \bar{Y}_{11} &= (\bar{Y}_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_{12} &= (Y_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_{13} &= (Y_{УУ}, Y_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, \bar{Y}_{УС}); & \bar{Y}_{14} &= (\bar{Y}_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_{15} &= (Y_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, \bar{Y}_{УС}); & \bar{Y}_{16} &= (\bar{Y}_{УУ}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, \bar{Y}_{УС}).
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

При условии независимости отказов выражение (3) имеет вид:

$$\begin{aligned}
 Y_1 &= (Y_{YU}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_2 &= (\bar{Y}_{YU}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_3 &= (Y_{YU}, \bar{Y}_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_4 &= (Y_{YU}, Y_{ПЭЭ}, \bar{Y}_{ЭД}, Y_{МП}, Y_{УС}); \\
 \bar{Y}_5 &= (Y_{YU}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, \bar{Y}_{МП}, Y_{УС}); & \bar{Y}_6 &= (Y_{YU}, Y_{ПЭЭ}, Y_{ЭД}, Y_{МП}, \bar{Y}_{УС}).
 \end{aligned}
 \tag{3}$$

Вероятность безотказной работы (ВБР) ЭП $R_{ЭП}$ представляется как

$$\begin{aligned}
 R_{ЭП}(t) &= \prod_{i=1}^m R_{K_i}(t) = R_{ЭП}(t) = \exp\left[-\int_0^t \lambda_{YU}(t) dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{ПЭЭ}(t) dt\right] \times \\
 &\times \exp\left[-\int_0^t \lambda_{ЭД}(t) dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{МП}(t) dt\right] \exp\left[-\int_0^t \lambda_{УС}(t) dt\right].
 \end{aligned}
 \tag{4}$$

где R_{K_i} – ВБР i -го компонента ($m=5$);

λ_i – интенсивность отказов i -го компонента.

Для получения количественных показателей надежности судовых ЭП целесообразно использование метода опытной оценки количественных характеристик надежности по результатам работы судовых ЭП, компонентов и их элементов в реальных эксплуатационных условиях.

Большинство отказов судовых ЭП по характеру процесса проявления характеризуются скачкообразным изменением из работоспособного состояния в отказ и классифицируются как внезапные.

Вероятность появления n однотипных отказов компонентов и элементов компонентов судовых ЭП зависит от длительности временного интервала, а не от расположения на оси времени. Таким образом, поток отказов многоскоростных судовых ЭП представляется стационарным.

Анализ потока отказов ЭП показывает, что возможность одновременного возникновения нескольких отказов ЭП практически исключена. В этом случае поток отказов относится к ординарным.

Результаты технического обслуживания основных групп судовых ЭП позволяют отнести их отказы к классу потоков без последствия, так как число отказов n на определенном временном интервале не зависит от их числа, возникшего до момента начала рассматриваемого временного интервала.

При принятии допущений о стационарности, ординарности и отсутствия последствия отказы исследуемых судовых ЭП могут быть отнесены к пуассоновскому потоку событий [5].

В этом случае интенсивность потока отказов судовых ЭП применительно к типам судов λ_T представляется как

$$\lambda_T = \bar{\omega}_T \approx \text{Const}, \tag{5}$$

вероятность P_t появления числа отказов n потока за время нормального периода эксплуатации t_n – распределением Пуассона

$$P_t(n) = \frac{(\lambda_T t_n)^{n \exp(-\lambda_T t_n)}}{n!}, \tag{6}$$

математическое ожидание отказов M и их дисперсия D – выражением

$$M(n) = D(n) = \lambda_T t_n, \tag{7}$$

а среднеквадратическое отклонение σ числа отказов n ЭП – уравнением

$$\sigma(n) = \sqrt{\lambda_T t_n}. \tag{8}$$

Функция плотности возникновения отказов F_o представляется как

$$F_o(t) = \lambda_T \exp(-\lambda_T t_n), \tag{9}$$

а ВБР судовых ЭП – выражением

$$R_{ЭП}(t) = \exp(-\lambda_T t_n). \tag{10}$$

Исходя из изложенного, к основным особенностям при расчетах показателей надежности судовых ЭП относится стационарность, ординарность и отсутствия последствия отказов. В связи с этим отказы судовых ЭП могут быть отнесены преимущественно к пуассоновскому потоку событий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Анго, А. Математика для электро- и радиоинженеров / А. Анго; под ред. К.С. Шифрина. -М.: Наука, 1964. -772 с.

- 2 Бурков, А.Ф. Повышение эффективности технической эксплуатации судовых электроприводов / А.Ф. Бурков. - Владивосток: Мор. гос. ун-т, 2011. -417 с.
- 3 Кузнецов, С.Е. Основы технической эксплуатации судового электрооборудования и автоматики / С.Е. Кузнецов, В.С. Филев. -СПб.: Судостроение, 1995. -448 с.
- 4 Электроприводы. Термины и определения: ГОСТ Р 50369-92. -Введ. 01-07-93. -М.: Изд-во стандартов, 1993. -14 с.
- 5 Кремер, Н.Ш. Теория вероятностей и математическая статистика / Н.Ш. Кремер. -Изд. 3-е, перераб. и доп. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2009. -551 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: случайные величины, надежность, судовой электропривод, отказы
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бурков Алексей Федорович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

КЛАССИФИКАЦИЯ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ

ФБОУ ВПО «Морской государственный университет им. адм. Г.И. Невельского»

Н.Д. Крицкий

CLASSIFICATION OF SWITCHING DEVICES
Maritime state university named after G.I.Nevelskoi
N.D. Kritsky

Classification of switching devices can be spent on a number of signs: to appointment, a scope, etc. In article the variant of classification of switching devices to 1000 volt is offered a principle used in the device, a current sort, design features.

Keywords: switching, classification, signs

Классификация коммутационных аппаратов может быть проведена по ряду признаков: назначению, области применения, принципу, используемому в аппарате, роду тока, конструктивным особенностям и др. В статье предложен вариант классификации коммутационных аппаратов до 1000 В.

Известно, что развитие той или иной отрасли науки и техники основывается на результатах исследований, сборе и анализе фактов, которые упорядочиваются и систематизируются (классифицируются).

В общем случае классификация представляет собой классификатор (систему ячеек и связей между ними), наполненный описаниями конкретных объектов.

Основной целью (полезной функцией) классификаций является обеспечение места каждого из классифицируемых объектов. Функция должна выполняться при следующих основных видах использования классификации:

- размещении новых объектов в классифицируемых массивах;
- нахождении конкретных объектов в этих массивах.

За основу построения классификации коммутационных аппаратов целесообразно принять индуктивный способ, обусловленный наличием несистематизированного набора вариантов реализации объектов. В этом случае при формировании классификатора используются вариантообразующие операторы деления и обобщения.

Основанием классификации являются коммутационные аппараты, являющиеся предметной системой, где функции подсистем определяются относительно несложно.

Целесообразным количественным условием при разработке классификации является наличие массива ячеек на одном иерархическом этаже не более семи, поскольку семь ячеек является, как правило, пределом активного восприятия и анализа пользователями массива объектов.

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. 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 используются электрические аппараты – контактные коммутационные аппараты (электромеханические контакторы и реле и др.) и бесконтактные коммутационные аппараты (статические).

К основным достоинствам 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 коммутационных аппаратов в первую очередь являются процесс дугообразования в переходных режимах при больших коммутируемых токах и низкое быстродействие [5]

Исходя из большого разнообразия, обусловленного конструктивными и эксплуатационными особенностями, коммутационные аппараты целесообразно условно классифицировать по общим признакам.

К основным классификационным признакам коммутационной аппаратуры можно отнести:

- 1 Способ коммутации электрических цепей;
- 2 Количество коммутируемых главных цепей;
- 3 Род тока;
- 4 Величину коммутируемого тока;
- 5 Род тока цепи управления.

Разработка требований к коммутационной аппаратуре осуществляется на основании анализа их функционирования и сформулированных в государственных и отраслевых стандартах технических условиях, общих требований к аппаратам.

В современной литературе, например в [6], наиболее часто приводится классификация электрических аппаратов, которая в полном объеме не может дать представление о классификации коммутационных аппаратов. Некоторые источники литературы несут только общие классификационные признаки, например в [7].

Во многих научно-технических источниках отдельные классификационные признаки представлены по группам аппаратов. Например, классификация рубильников и переключателей приведена в литературе [8-10].

Классификация реле представлена в литературе [11-13]. Основные классификационные признаки контакторов представлены в современной литературе [14-16]. В качестве примера классификации современных судовых контакторов можно привести классификационные признаки, представленные в [10]. Классификационные признаки гибридных электрических аппаратов представлены в [17]. Некоторые классификационные признаки командоаппаратов и выключателей цепей управления приведены в [16].

По анализу научно-технической литературы можно сделать вывод, что единой классификаций коммутационных аппаратов на сегодняшний день не существует.

Для восполнения имеющихся пробелов необходимо разработать, необходимую классификацию, взяв за основу имеющуюся литературу, а так же государственные стандарты.

Представленная классификация коммутационных аппаратов, имеет древовидную иерархическую структуру, согласно которой коммутационные аппараты можно разделить по ряду общих признаков:

- 1 По способу коммутации электрических цепей:
 - 1.1 Контактные аппараты;
 - 1.2 Бесконтактные аппараты;
 - 1.3 Гибридные (комбинированные) аппараты.

Контактные аппараты способные коммутировать электрическую цепь при помощи электрических контактов. Электрический контакт – функциональный узел, с помощью которого соединяются две и более токоведущих детали для перехода тока из одной детали в другую [18].

Контактные аппараты в свою очередь классифицируются:

- 1.1.1 По виду аппарата;
- 1.1.2 По виду привода;
- 1.1.3. По коммутационной среде;
- 1.1.4 По дугогасительной системе;
- 1.1.5 По положению главных контактов.

По виду аппарата. Например: контактор, реле, рубильник, переключатель, командоап-

парат, автоматический воздушный выключатель, предохранитель и др.

По виду привода. Например: ручной, электромагнитный, двигательный, пневматический, электропневматический [14].

По коммутационной среде. Например: воздух, масло, газ, вакуум и т.п. [14].

По дугогасительной системе. С наличием дугогасительных устройств (дугогасительные камеры, дугогасительные решетки, дугогасительные катушки и т.д.) и без них (при помощи механического растягивания).

По положению главных контактов могут быть замыкающими, размыкающими и с различным сочетанием контактов.

Бесконтактные аппараты способны коммутировать электрическую цепь без ее механического разрыва [4]. К таким устройствам относятся магнитные усилители, электронные приборы на полупроводниках.

Бесконтактные аппараты можно разделить на:

1.2.1 Электрические аппараты, выполненные на полупроводниках;

1.2.2 Магнитные усилители.

Электрические аппараты, выполненные на полупроводниках, например: тиристорные контакторы, полупроводниковые реле, тиристорные выключатели, симисторные переключатели и др.

Магнитные усилители представляют собой статический электромагнитный аппарат, в котором усиление сигнала происходит за счет внешнего источника энергии с помощью управляемого индуктивного сопротивления [9].

Магнитные усилители могут применяться в качестве:

– предварительных каскадов усиления в многокаскадных схемах;

– выходных каскадов в маломощных схемах управления;

– магнитных реле.

Отечественная промышленность выпускает магнитные усилители серий ТУМ и УМ [9].

Стремление совместить в аппаратах положительные качества контактных аппаратов и полупроводниковых привело к созданию гибридных, или комбинированных аппаратов, в которых ток во включенном состоянии аппарата проходит через контакты, а коммутация его выполняется силовыми полупроводниковыми приборами, включенными параллельно [17].

Примерами гибридных (комбинированных) аппаратов могут служить: гибридные контакторы, гибридные выключатели, гибридные переключатели и др.

2 По числу коммутируемых главных цепей (полюсов):

2.1 На одну коммутируемую главную цепь;

2.2 На две коммутируемые главные цепи;

2.3 На три коммутируемые главные цепи;

2.4 На четыре коммутируемые главные цепи;

2.5 На пять коммутируемых главных цепи.

Коммутируемые главные цепи (полюса), предназначены для замыкания и размыкания силовых цепей. Они должны быть рассчитаны на длительное проведение номинального тока и на производство большого числа включений и отключений. В зависимости от положения они делятся на две группы: замыкающие и размыкающие [8]. Соответственно одна коммутируемая главная цепь (полюс) предназначена для замыкания или размыкания одной силовой цепи и т.д. Если аппарат является бесконтактным, то коммутируемая главная цепь будет замыкаться и размыкаться без механического разрыва.

3 По роду коммутируемого тока:

3.1 Постоянного тока;

3.2 Переменного тока.

Коммутационные аппараты постоянного тока коммутируют цепи постоянного тока.

Коммутационные аппараты переменного тока коммутируют цепи переменного тока. Наиболее широкое применение и распространение получили коммутационные аппараты переменного тока в связи с использованием переменного тока в промышленности и быту.

Переменным током называется всякий ток, изменяющийся во времени, но в технике переменным током принято называть ток, периодически изменяющийся по силе и направлению. Закономерности периодического изменения тока могут быть весьма разнообразны [19].

4 По величине коммутируемого тока:

4.1 Слаботочные;

4.2 Сильноточные.

Коммутационные аппараты коммутирующие малые токи с током от 0,01 А до 10 А являются слаботочными. Примером могут служить различные виды судовой сигнализации, схем связи, бытовые осветительные сети, электронно-вычислительные машины, локально вычислительные сети и др.

Коммутационные аппараты, коммутирующие токи от десятков до тысяч ампер можно считать сильноточными. Примерами являются электроприводы судовых механизмов, судовые электростанции и т.д.

5 По способу управления:

5.1 Автоматический;

5.2 Неавтоматический (ручной);

5.3 Полуавтоматический (комбинированный).

Автоматический способ управления – это совокупность операций, необходимых для пуска, автоматической защиты, блокирования и остановки процесса, а также для поддержания на заданном уровне или изменения в требуемом направлении управляемых величин, характеризующих процесс [20]. Автоматический способ управления осуществляется посредством автоматического аппарата управления или программируемого контроллера [14]. Примером может служить автоматический пуск резервного дизель – генератора, автоматический пуск компрессоров и т.д.

Неавтоматический (ручной) способ управления – управление, осуществляется при воздействии человека на исполнительные органы объекта или элементы исполнительного механизма обычно путем местного или дистанционного управления [20]. Неавтоматический (ручной) способ управления осуществляется при помощи ручного привода или нажимных кнопок [14].

Местное управление выполняется оператором (человеком) из того же помещения где, расположен управляемый объект, и, как правило, в непосредственной близости от него.

При дистанционном управлении задаваемые команды исполняются путем воздействия человека на органы управления, расположенные на некотором расстоянии от объекта [20].

Полуавтоматический (комбинированный) способ управления – является частично автоматическим, частично неавтоматическим способом управления. Например, автоматический воздушный выключатель, приводится в действие человеком (оператором), а отключается автоматически.

6 По роду тока цепи управления:

6.1 Постоянного тока;

6.2 Переменного тока;

6.3 Другие.

Многие коммутационные аппараты приводятся в действие при помощи втягивающих катушек или отдельных блоков питания, которые работают от цепей постоянного или переменного тока. Совокупность устройств, предназначенных для прохождения в них электрического тока, называется электрической цепью. Примерами могут служить электромагнитные контакторы, электромагнитные реле и др.

Под другими цепями управления подразумевается управление полупроводниковыми приборами в ключевом режиме.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Словарь иностранных слов / под ред. И.В. Лехина, Ф.Н. Петрова. -Изд. 5-е. -М.: Гос. изд-во иностр. и национ. слов., 1955. -856 с.
- 2 Электрические и электронные аппараты: учеб. для вузов / под ред. Ю.К. Розанова. -М.: Энергоатомиздат, 1998. -752 с.
- 3 Люди русской науки. В 2 т. Т.2 / сост. и ред. И.В. Кузнецов. -М.; Л.: Гос. изд-во технико-теорет. лит., 1948. -1196 с.
- 4 Осокин, Б.В. Электрооборудование судов: учеб. для вузов / Б.В. Осокин, О.П. Хайдуков. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1982. -352 с.
- 5 Бурков, А.Ф. Специальные режимы работы контактных коммутационных аппаратов /А.Ф. Бурков. -Владивосток: Мор. гос. ун-т им. адм. Г.И. Невельского, 2007. -56 с.
- 6 Алиев, И.И. Электрические аппараты: справочник / И.И. Алиев, М.Б. Абрамов. -М.: РадиоСофт, 2004. -251 с.
- 7 Хализев, Г.П. Электропривод и основы управления / Г.П. Хализев. -2-е изд., испр. -М.; Л.: Госэнергоиздат, 1963. -384 с.: черт.
- 8 Родштейн, Л.А. Электрические аппараты низкого напряжения / Л.А. Родштейн. -М.; Л.: Энергия, 1964. -368 с.: рис.
- 9 Марков, Э.Т. Судовые электрические аппараты: учеб. пособие / Э.Т. Марков. -Изд. 2-е, перераб. -Л.: Судостроение, 1981. -344 с.: ил.
- 10 Роджеро, Н.И. Справочник судового электромеханика и электрика / Н.И. Роджеро. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Транспорт, 1986. -319 с.: ил., табл.
- 11 Коробков, Ю.С. Электромеханические аппараты автоматики / Ю.С. Коробков, В.Д. Флора. -М.: Энергоатомиздат, 1991. -342 с.: ил.
- 12 Реле. Коммутационное оборудование и устройства защиты двигателей [Электронный ресурс]. -Режим доступа:

www.corumtrade.ru.

13 ГОСТ 16022-83. Реле электрические. Термины и определения. -Взамен ГОСТ 16022-83; введ. 01-01-85. -М.: Изд-во стандартов, 1982. -37 с.

14 ГОСТ 30011.4.1-96. Низковольтная аппаратура распределения и управления. Ч.4. Контактные и пускатели. Разд.1. Электромеханические контакторы и пускатели. -Введ. 01-01-1998. -Минск: Изд-во стандартов, 1998. -60 с.

15 ГОСТ 11206-77. Контактные электромагнитные низковольтные Общие технические условия. -Взамен ГОСТ 11206-70; введ. 01-01-79. -М.: Изд-во стандартов, 1976. -19 с.

16 Судовые электроприводы. В 2 т. Т.1: справочник / А.П. Богословский [и др.]; ред. А.К. Юдин. -Изд. 2-е, перераб. и доп. -Л.: Судостроение, 1983. -352 с.: ил.

17 Могилевский, Г.В. Гибридные электрические аппараты низкого напряжения / Г.В. Могилевский. -М.: Энергоатомиздат, 1986. -232 с.: ил.

18 Повный, А.В. [Электронный ресурс]. -Режим доступа: www.electrolibrary.narod.ru.

19 Сафонов, А.С. Специальная электротехника / А.С. Сафонов. -М.: Воениздат, 1973. -568 с.

20 Власенко, А.А. Судовая электроавтоматика: учеб. для вузов /А.А. Власенко, В.А. Стражмейстер. -М.: Транспорт, 1983. -368 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

коммутация, аппарат, классификация, признаки, the device

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Крицкий Николай Дмитриевич, аспирант ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И.Невельского»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

690059, г.Владивосток, ул.Верхнепортовая, 50а, ФБОУ ВПО «МГУ им. адм.

Г.И.Невельского»

СОСТАВЛЯЮЩИЕ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Ю.М. Денчик, В.Г. Сальников, А.В. Гноевой

INACTIVE POWER COMPONENTS OF CURRENT NETWORK UNDER HARMONIC ACTIONS

Novosibirsk state academy of water transport

Ju.M. Denchik, V.G. Sal'nikov, A.E. Gnoevoy

Describes distortion power effect upon active current network losses under harmonic actions, not being technological norm components of power consumption during the transfer. Expenses in such cases lay on the consumers with non-linear load, conditioning current network distortions.

Keywords: inactive power, harmonics, power factor, distortion parameters, the algorithm, anharmonicity voltage, output distortion

Показано влияние мощности искажения на активные потери в сети при гармоническом воздействии, которые не являются составляющими технологических норм расхода электроэнергии при её передаче. Оплачивать их должны потребители с нелинейной нагрузкой, обуславливающей искажения напряжения в сети.

Снижение расхода энергии на её передачу по электрическим сетям и обеспечение нормальных уровней электромагнитной совместимости (ЭМС) для кондуктивных электромагнитных помех (ЭМП) в системах электроснабжения (СЭС) общего назначения имеют большое значение для экономики страны. Причём это значение постоянно возрастает, так как в конечном счёте приводит к экономии топлива и повышению энергобезопасности регионов.

Неопределённостью, с которой сталкиваются при обосновании технологических норм на передачу электроэнергии, обуславливается стохастическим характером кондуктивных низкочастотных ЭМП, возникающих при снижении показателей качества электроэнергии, и отсутствием системы учёта всех составляющих полной мощности при несинусоидальных и несимметричных режимах работы СЭС общего назначения [1-3].

Сущность этой проблемы заключается в том, что при наличии гармонических составляющих в напряжении и токе создаются несколько компонентов мгновенной мощности, которые не участвуют в чистой передаче энергии. Распространить же свойства реактивной мощности в сетях при синусоидальных напряжениях и токах на сети с искажениями невозможно по природным причинам [3].

В научном мире до сих пор ведутся оживлённые дискуссии и пока нет единой общепринятой теории мощности, которая могла бы использоваться в качестве основы для взимания платы за использованную электроэнергию, оценки качества электроснабжения, определения источников гармонических искажений в СЭС и их компенсации. Вследствие этого действующие стандарты описывают только синусоидальные системы и не дают основополагающего определения реактивной энергии (или мощности) при несинусоидальных напряжениях и токах. Точно так же нет конкретных требований по точности соответствующих проверок при

наличии гармонических искажений. Только для счётчиков активной энергии задаётся проверка точности при наличии гармоник. Счётчики же для измерения реактивной энергии изготавливаются для работы с синусоидальными напряжениями и токами.

В связи с этим основной целью изложения последующего материала является рассмотрение методологического подхода к анализу технологического расхода электроэнергии на её передачу (потери) и определению (выбору) составляющих полной мощности в симметричной сети при гармоническом воздействии. Поэтому изложение ограничивается анализом электромагнитных процессов, протекающих в одной фазе трёхфазной электрической сети. Баланс полной мощности характеризуется уравнением [1]

$$S^2 = P^2 + Q^2 + T^2, \quad (1)$$

где T – мощность искажения, В·Ар;
 P – активная мощность, Вт;
 Q – реактивная мощность, В·Ар.

Реактивная мощность и мощность искажения формируют неактивную мощность (В·Ар)

$$N = \sqrt{Q^2 + T^2}. \quad (2)$$

Для возникновения мощности искажения, которая не участвует в обменном процессе между источником и приёмником электроэнергии в течение периода, затрачивается часть мощности активной составляющей полной мощности. Для наглядной оценки этой потери на рисунке 1 показана связь между составляющими полной мощности при синусоидальном напряжении, представленной на треугольнике мощности Oav параметрами основной (первой) гармоники ($S = S_1, P = P_1, Q = Q_1$), и при несинусоидальном напряжении ($\Delta Obг$). Эти треугольники мощности построены при условии, что полные мощности, расходуемые в фазе сети при синусоидальном и несинусоидальном напряжениях, равны между собой, то есть $S_1 = \text{Const}$.

Мощность искажения T из-за дополнительных потерь активной мощности ΔP снижает эффективность передачи электрической энергии в сети (коэффициент мощности)

$$K_m = \frac{P_1 - \Delta P}{\sqrt{P^2 + N^2}} = \cos \varphi_y, \quad (3)$$

Коэффициент мощности для основной (первой) гармоники определяется по формуле

$$K_{m1} = \frac{P_1}{S_1} = \cos \varphi_1, \quad (4)$$

где P_1, S_1 – соответственно активная и полная мощность 1-й гармоники.

Сравнивая значения коэффициентов K_m и K_{m1} , а также учитывая рисунок 1, легко заметить, что $\varphi_y > \varphi_1$.

Широкая практическая оценка влияния гармонического воздействия на баланс полной мощности в электрической сети не осуществляется из-за отсутствия национального стандарта. Среди международных стандартов выделяется стандарт IEEE 1459-2000 [4], который определяет методологию учёта неактивной мощности, но не мощности искажения. Основные особенности этой методологии применительно к рассматриваемой задаче, характеризуют следующие положения.

При наличии высших гармоник напряжения U_H и тока I_H действующие значения напряжения U и тока I в сети рекомендуется определять по формулам:

$$\begin{cases} U^2 = U_1^2 + U_H^2; \\ U_H^2 = \sum_{n=1} U_n^2 = U^2 - U_1^2; \end{cases} \quad (5)$$

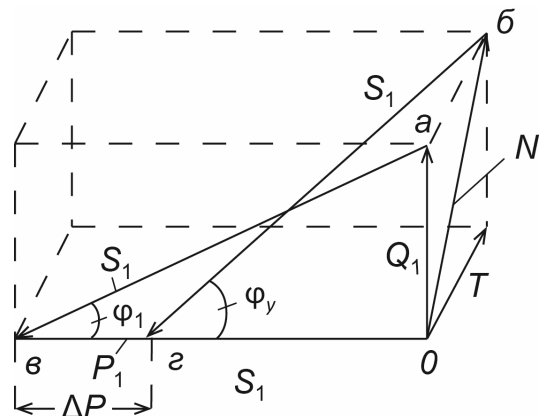


Рисунок 1 – Графическая связь между составляющими полной мощности при синусоидальном (Δoav) и несинусоидальном напряжением ($\Delta Obг$) в фазе симметричной трёхфазной сети

$$\begin{cases} I^2 = I_1^2 + I_H^2; \\ I_H^2 = \sum_{n=1}^n I_n^2 = I^2 - I_1^2, \end{cases} \quad (6)$$

где n – количество высших гармонических составляющих;
 H – индекс, означает сумму всех высших гармоник.

Полная (кажущаяся) мощность определяется по формуле

$$S^2 = (UI)^2 = S_1^2 + S_N^2, \quad (7)$$

где S_1, S_N – мощность гармоники основной частоты и высших гармоник, при этом

$$S_1^2 = (U_1 I_1)^2, \quad (8)$$

Второе слагаемое формулы (7) состоит из трёх компонентов искомым гармонических искажений (токовые искажения мощности D_1 , искажения мощности, вызванные искажениями напряжения D_U , и полная мощность высокочастотных гармоник S_H) и определяется по формуле

$$S_N^2 = D_1^2 + D_U^2 + S_H^2 = (U_1 I_H)^2 + (U_H I_1)^2 + (U_H I_H)^2, \quad (9)$$

Значение S_N^2 определяется через полную мощность

$$S_N = \sqrt{S^2 - (U_1 I_1)^2}. \quad (10)$$

Первое слагаемое S_1 в формуле (9) определяет величину мощности основной частоты, отдаваемой в нагрузку, физический смысл второго слагаемого S_N – часть мощности источника, которая теряется из-за возникновения высокочастотных гармоник. Наиболее информативным показателем для характеристики уровня гармоник является фактор гармоник, который определяется по формуле

$$K_S = \frac{S_N}{S_1}. \quad (11)$$

Активная и реактивная мощности основной гармоники определяются по формулам:

$$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1; \quad (12)$$

$$Q_1 = U_1 I_1 \sin \varphi_1. \quad (13)$$

Коэффициенты, показывающие общие гармонические искажения напряжения и тока, определяются из выражений:

$$K_{HU} = \frac{U_H}{U_1} = \frac{\sqrt{U^2 - U_1^2}}{U_1}, \quad (14)$$

$$K_{HI} = \frac{I_H}{I_1} = \frac{\sqrt{I^2 - I_1^2}}{I_1}, \quad (15)$$

На рисунке 2 представлен алгоритм контроля составляющих мощности в несинусоидальных цепях и коэффициентов, показывающих структуру потерь в этих цепях [3].

Таким образом, при гармоническом воздействии потери активной мощности, обусловленные мощностью искажения T , не являются составляющей нормы технологического расхода электроэнергии на её передачу. Оплачивать их должны потребители, нелинейная нагрузка которых вызывает искажения напряжения в сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -432 с.

2 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в сетях 6-10 кВ / Е.В. Иванова, А.А. Руппель; под ред. В.П. Горелова. -Омск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2004. -284 с.

3 Чижма, С.Н. Составляющие мощности при несинусоидальных и несимметричных режимах работы систем электропитания железных дорог / С.Н. Чижма // Изв. Транссиба. -2010. -№4(4). -С. 94-103.

4 IEEE Trial Use Standard Definitions for the Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, Non-Sinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions: IEEE Std 1459-2000 // IEEE. -2002. -52 p.

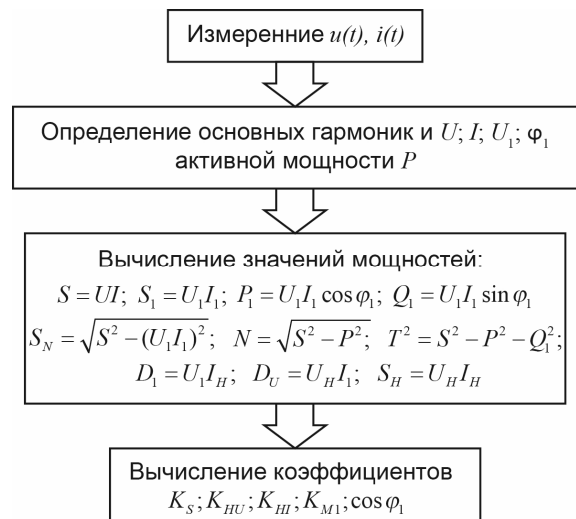


Рисунок 2 – Алгоритм определения показателей полной мощности в однофазной цепи при гармоническом воздействии

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: несинусоидальность напряжения, мощность искажения, неактивная мощность, гармоники, коэффициент мощности, показатели искажений, алгоритм

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Сальников Василий Герасимович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Гноевой Андрей Валерьевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Ю.Н. Дементьев, А.Д. Умурзакова

ALGORITHM OF CONTROL OF ANGULAR SPEED OF THE ENGINE IN THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE
National research Tomsk polytechnic university
Y.N. Demytyev, A.D. Umurzakova

The algorithm of control of angular speed of the engine in the asynchronous electric drive, providing the demanded accuracy of result of measurement and simplicity of realization is offered.

Keywords: asynchronous electric motor, angular speed of rotation, control, measurement

Предложен алгоритм контроля угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе, обеспечивающий требуемую точность результата измерения и простоту реализации.

В настоящее время, во многих отраслях промышленности лидирующее положение среди электромеханических преобразователей занимает асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором (АДКР), причем важность внедрения управляемых электроприводов на базе АДКР в промышленных объектах неоспорима. Во многом это связано с необходимостью обеспечения сложных требований технологического процесса, а также с возможностью уменьшения энергопотребления, увеличения производительности и повышения надежности, с относительной дешевизной и простотой конструкции АДКР.

Современные системы управления регулируемых асинхронных электроприводов требуют знания об управляемых координатах АДКР в процессе его работы, и производить на этой основе функциональное диагностирование с обнаружением на ранней стадии возникающих дефектов для их своевременного устранения. Поэтому в регулируемых электроприводах общепромышленного назначения важен контроль механических координат.

С помощью регулирования угловой скорости вращения АДКР с высокой статической и динамической точностью обеспечиваются требуемые параметры современного технологического процесса.

Широко используемыми устройствами контроля механических координат асинхронного электропривода являются устройства непосредственного измерения [1, 4, 6]. Однако необходимость совмещения датчика с механической частью электродвигателя, усложняющие ремонт и ревизию, сложность конструкции вносят определенные трудности применения вышеназванных устройств.

Определяя угловую скорость двигателя при отсутствии датчиков скорости на его валу, а именно при применении устройств косвенного контроля координат, эти недостатки исключаются [2, 3, 5]. Кроме того, при их использовании уменьшается сложность конструкции электропривода, снижаются его стоимость, массогабаритные показатели привода, увеличивается надежность, исключается необходимость в ремонте датчиков, причем для работы в неблагоприятных условиях в основном требуются электроприводы без датчика скорости.

Поэтому в данной статье, в качестве варианта исключаящего вышеперечисленные недостатки, предлагается алгоритм контроля угловой скорости трехфазного АДКР, который позволяет провести измерение угловой скорости двигателя по известным паспортным данным двигателя и измеряемым величинам фазным токам и напряжениям, что облегчает контроль частоты вращения трехфазного асинхронного электродвигателя.

На рисунке 1 представлен алгоритм контроля угловой скорости асинхронного электропривода.

В соответствии с алгоритмом, представленном на рисунке 1, с учетом паспортных данных при определении угловой скорости асинхронного электропривода производится измере-

ние мгновенных значений фазных напряжений и токов и вычисление угловой скорости.

На рисунке 2 представлена блок-схема контроля угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе.

В схеме (см. рисунок 2) на асинхронный электродвигатель подается напряжение и измеряются мгновенные значения фазных токов i_a, i_b и напряжений u_a, u_b датчиками тока (ДТ1) и (ДТ2) и напряжения (ДН1) и (ДН2) на фазах А и В. Затем в блоке вычисления (БВУС), определяется сигнал, пропорциональный угловой скорости АДКР, и на выходе блока выводится результат измерения с помощью блока индикации (БИ).

Реализация БВУС представлена блок-схемой на рисунке 3, и содержит блоки суммирования БС1, ввода коэффициентов БВК1, умножения БУ1, вычисления динамической дифференциальной составляющей относительного значения угловой скорости БВДДС, вычисления динамической интегральной составляющей относительного значения угловой скорости БВДИС, вычисления измеренного мгновенного значения угловой скорости БВИМЗ.

Формирование значения угловой скорости АДКР на выходе блока вычисления происходит путем преобразования, умножения, интегрирования и суммирования подаваемых сигналов.

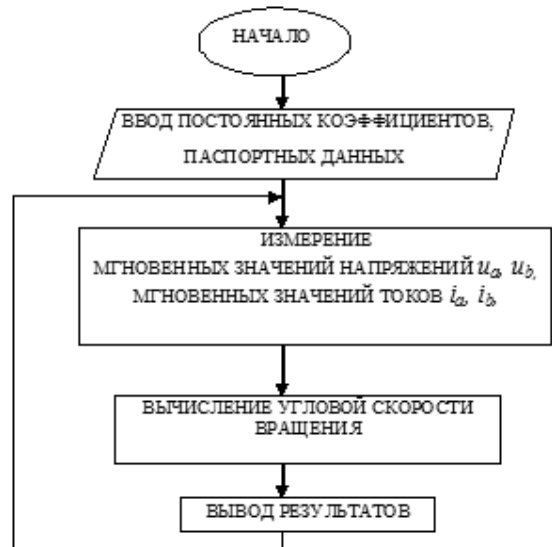


Рисунок 1 – Алгоритм косвенного контроля угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе

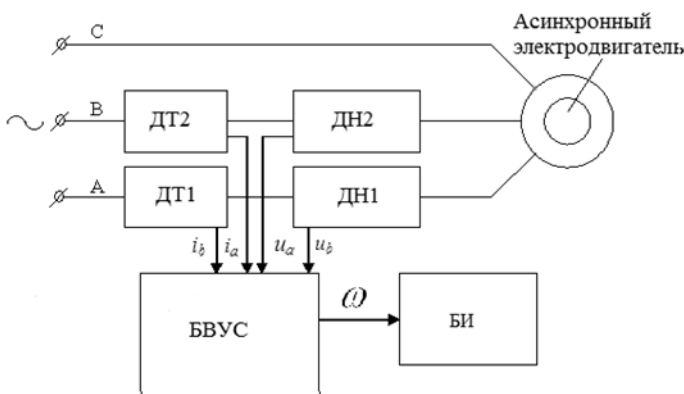


Рисунок 2 – Схема контроля угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе

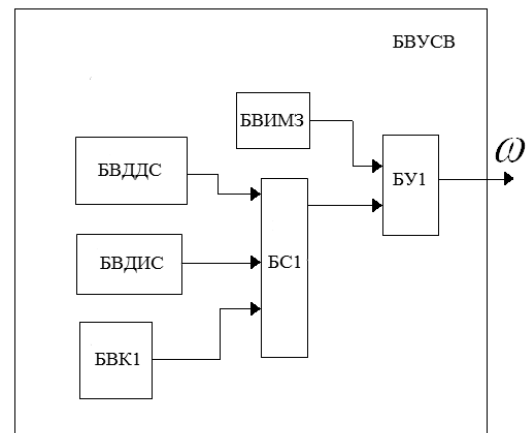


Рисунок 3 – Блок вычисления угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе

Таким образом, применение предлагаемого в статье алгоритма контроля угловой скорости двигателя в асинхронном электроприводе позволяет обеспечить требуемую точность результата измерения и является простым по реализации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лейтман, М.Б. Автоматическое измерение выходных параметров электродвигателей / М.Б. Лейтман. -М.: Энергоатомиздат, 1983. -152 с.
- 2 Мельников, В.Ю. Косвенный контроль координат асинхронного короткозамкнутого двигателя. Вып.1. / В.Ю. Мельников, Е.Г. Бородацкий. -Павлодар, 1993. -10 с. -Деп. в КазгосИНТИ 10.12.93, №4530.
- 3 Мельников, В.Ю. Способы измерения угловой скорости вращения и крутящего момента асинхронного электродвигателя / В.Ю. Мельников, А.Д. Умурзакова // Энергетика: экология, надежность, безопасность: материалы XVI Всерос. науч.-техн. конф. -Томск, 2010. -С. 404-406.
- 4 Потапов, Л.А. Измерение вращающихся моментов и скоростей вращения микроэлектродвигателей / Л.А. Потапов, Ф.М. Юферов. -М.: Энергия, 1976. -121 с.
- 5 Предвар. пат. 18973 РК. Способ измерения угловой скорости вращения трехфазного асинхронного электродвигателя / В.Ю. Мельников, А.Д. Умурзакова. -Опубл. 15.08.08. -Бюл. №8.
- 6 Тун, А.Я. Системы контроля скорости электропривода / А.Я. Тун. -М.: Энергоатомиздат, 1984. -168 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный электродвигатель, угловая скорость вращения, контроль, измерение
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дементьев Юрий Николаевич, канд. техн. наук, доцент, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Умурзакова Анара Даукеновна, аспирант, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

КАРТЫ ОЦЕНКИ СРОКА СЛУЖБЫ ОПОР ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
Тобольский филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
ЗАО «Центр энергетических исследований»

**Ю.В. Дёмин, Д.С. Скотников, А.С. Герасименко, С.В. Ивашкин, Г.В. Иванов,
А.И. Мозилов**

CARDS OF THE ASSESSMENT OF SERVICE LIFE OF PILLARS FROM FERRO-CONCRETE

Novosibirsk state academy of water transport
Novosibirsk state academy of water transport, Tobolsk branch
Center for energy research

Yu.V. Demin, D.S. Skotnikov, A.S. Gerasimenko, S.V. Ivashkin, G.V. Ivanov, A.I. Mozilov

In given article the procedure of development of a card of durability of ferro-concrete electronetwork designs on an example of one of areas of Turkmenistan is resulted

Keywords: corrosion, service life, concrete, maps, designs

Приведена методика разработки карты долговечности железобетонных электросетевых конструкций на примере одного из районов Туркменистана.

Железобетонные электросетевые конструкции (опоры, фундаменты, стойки, анкерные плиты и т.д.) (далее – ЖБ ЭК) начали широко применяться с начала 50-х годов. В настоящее время количество опор из железобетона составляет 57% от общей протяженности ВЛ 35-500 кВ. Средний срок эксплуатации ЖБ ЭК составляет 30 лет. Однако, как показывает опыт эксплуатации данного типа конструкций, срок службы варьируется в широких диапазонах в пределах от 3-5 лет до 40-50 лет и зависит от грунтово-климатических условий. Учитывая большое количество ЖБ ЭК, необходимо разработать методику оценки выявления зон повышенной коррозионной опасности в зависимости от конкретных факторов с помощью специальных карт.

Для составления карт долговечности используем следующую последовательность:

– рассмотрим различные грунтово-климатические факторы, определяющие особенности эксплуатации конструкций.

– произведен отбор наиболее информативных (определяющих факторов).

– информация о значении определяющих факторов была представлена как исходная - в виде различных карт (карты засоленности почв, карты глубин залегания уровня грунтовых вод, карты типов грунта, карты росообразования и т.д.).

– при наличии единого масштаба, после проведения операции логического пересечения карт исходных данных, получаем обобщенные карты грунтов по климатической характеристике среды эксплуатации железобетонных ЖБ ЭК.

Используя математическую модель, связывающую долговечность конструкции через свойства материала и обобщенную грунтово-климатическую характеристику района, можно получить окончательный вариант карт долговечности ЖБ ЭК.

Необходимо заметить, что хотя обобщенная грунтово-климатическая характеристика и является в данном случае промежуточной информацией, но по своему качественному содержанию данных может быть использована для описания других электросетевых конструкций (заземляющие устройства, кабели и т.д.) и имеет свое самостоятельное значение.

Исходные данные для составления карты обобщенной грунтово-климатической характеристики районов. В ранее проведенных обследованиях состояния конструкций на территории СНГ были выявлены факторы, в наибольшей степени, определяющие их долговечность. К ним, прежде всего, относятся:

– химический состав (солесодержание) грунта, а именно концентрация ионов Cl^- , SO_4^{2-} , Mg^{2+} , Ca^{2+} , рН, величина сухого остатка;

- влажностные условия эксплуатации (влажность грунта, глубина залегания уровня грунтовых вод, высота росообразования);
- тип грунта (песчаный, супесчаный, глинистый, гравий, щебень и т.д.)
- температурные режимы эксплуатации.

В связи с тем, что общими, с точки зрения применения других конструкций, является только часть этих факторов, а также для упрощения чтения карты обобщенной характеристики условий, было принято решение об использовании на первом этапе следующей информации:

- информация о содержании грунтов;
- глубины залегания уровня грунтовых вод;
- тип грунта.

Используемая информация в достаточной степени характеризует условия эксплуатации железобетонных электросетевых конструкций, а имеющаяся информация о температурных режимах эксплуатации и уровне росообразования будет использована на втором этапе – при построении карты долговечности.

Информация о солесодержании грунтов была взята из карты засоления грунтов, выполненной в масштабе 1:300 000. Однако, в силу того, что Кара-Кумский канал привел к значительным изменениям в засоленности грунтов и глубин залегания уровня грунтовых вод, необходима была коррекция этих данных с учетом происшедших изменений. Характеристика типов грунтов была взята из карт засоленности, в предположении, что существенных изменений не произошло. Информация о глубине залегания грунтовых вод была взята из соответствующих карт, выполненных в масштабе 1:600 000. Исходя из разного масштаба карт исходных данных, было принято решение о приведении их к одному масштабу 1:600 000.

После проведения анализа карт засоленности, глубин залегания уровня грунтовых вод и типов грунта были получены карты обобщенной грунтово-климатической характеристики районов Туркмении, выполненные в масштабе 1:600 000. Данные карты приведены на рисунке и имеют 84 уровня изменения обобщенной грунтово-климатической характеристики районов.

Получение математической модели долговечности железобетонных электросетевых конструкций. Для того, чтобы получить зависимость долговечности конструкции от факторов ее определяющих, возможно два пути:

- описание физико-химических явлений с помощью интегро-дифференциальных уравнений;
- описание долговечности в виде регрессионных зависимостей на основании опытных данных.

Второй путь наиболее приемлем для инженерных расчетов. Была выбрана следующая последовательность получения такой зависимости.

На первом шаге были отобраны наиболее информативные факторы, затем с помощью теории планирования эксперимента был разработан оптимальный план и получена первая математическая модель прочности бетона R от факторов. Поскольку нас, в конечном итоге, интересует временная модель вида $R(t) = f(t, x_1, x_2, \dots, x_n)$, то такие зависимости рассчитывались в течение всей длительности эксперимента.

В лабораторных условиях СибНИИЭ было произведено моделирование процесса кор-



Рисунок – Фрагмент карты обобщенной грунтово-климатической характеристики района залива Кара-Богаз-Гол, Туркменистан. Масштаб 1:600 000: цифрами обозначены уровни изменения обобщенной грунтово-климатической характеристики районов

розии железобетона. Бетонные образцы в форме бруска 4×4×16 см, армированные стержнем из Ст.3 диаметром 4 мм, были погружены в грунт с различной засоленностью и влажностью. Осуществлялось суточно-циклическое температурное воздействие на образцы, при этом температура на поверхности грунта достигала 70 °С. Ниже предлагается описание части общего эксперимента, на основе которого были получены первые модели по долговечности бетона.

В опыте использовались образцы из бетона В30, которые в течение 4 лет были погружены в засоленный грунт (тип грунта-песок).

В качестве факторов, определяющих долговечность бетона, в опыте учитывались:

- влажность грунта;
- содержание ионов Cl⁻;
- содержание ионов SO₄²⁻.

В качестве показателя долговечности, было принято изменение прочности бетона во времени. В течение всей продолжительности опыта образцы периодически вынимались (через 0,5 года) и определялась прочность бетона.

В качестве математического плана эксперимента был выбран двухуровневый план полнофакторного эксперимента для трех аргументов (ПФЭ 2³). В таблице 1 приведены кодовые и натуральные значения факторов и интервалов варьирования. В связи с большим диапазоном изменения возможного солесодержания факторы содержания ионов Cl⁻ и SO₄²⁻, были приведены к логарифмической форме.

Таблица 1 – Кодовые и натуральные значения факторов и интервалов варьирования

| Уровни факторов и интервалы варьирования | Кодовые значения | | | Натуральные значения | | |
|--|------------------|----------------|----------------|----------------------|-----------------------------------|--------------------|
| | X ₁ | X ₂ | X ₃ | lg∑ Cl ⁻ | lg∑ SO ₄ ²⁻ | α ₁ , % |
| Основной уровень | 0 | 0 | 0 | 2,376 | 2,528 | 4,5 |
| Интервал варьирования | 1 | 1 | 1 | 1,000 | 1,000 | 3,5 |
| Верхний уровень | 1 | 1 | 1 | 3,376 | 3,528 | 8,0 |
| Нижний уровень | -1 | -1 | -1 | 1,376 | 1,528 | 1,0 |

Таблица 2 – Матрица плана и результаты опытов

| N | Матрица плана | | | | Результаты опытов, прочность бетона, кг/см | | | | | | | | |
|---|----------------|----------------|----------------|----------------|--|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | X ₀ | X ₁ | X ₂ | X ₃ | γ ⁰ | γ ^{0+0,5} | γ ^{0+1,0} | γ ^{0+1,5} | γ ^{0+2,0} | γ ^{0+2,5} | γ ^{0+3,0} | γ ^{0+3,5} | γ ^{0+4,0} |
| 1 | +1 | -1 | -1 | -1 | 330 | 335 | 350 | 337 | 352 | 345 | 358 | 360 | 362 |
| 2 | +1 | +1 | -1 | -1 | 330 | 340 | 342 | 313 | 302 | 281 | 262 | 268 | 251 |
| 3 | +1 | -1 | +1 | -1 | 330 | 332 | 346 | 327 | 304 | 276 | 243 | 227 | 216 |
| 4 | +1 | +1 | +1 | -1 | 330 | 337 | 348 | 326 | 318 | 320 | 314 | 317 | 310 |
| 5 | +1 | -1 | -1 | +1 | 330 | 344 | 347 | 364 | 371 | 374 | 372 | 392 | 405 |
| 6 | +1 | +1 | -1 | +1 | 330 | 341 | 312 | 287 | 252 | 237 | 222 | 209 | 201 |
| 7 | +1 | -1 | +1 | +1 | 330 | 336 | 327 | 296 | 263 | 229 | 207 | 192 | 178 |
| 8 | +1 | +1 | +1 | +1 | 330 | 322 | 311 | 275 | 233 | 226 | 214 | 179 | 161 |

Исходная прочность образцов составила 330 кгс/см². Результаты периодических измерений прочности образцов приведены в таблице 2. План ПФЭ 2³ дает возможность получить уравнение вида

$$\gamma^{0+k} = b_0^{0+k} + b_1^{0+k} X_1 + b_2^{0+k} X_2 + b_3^{0+k} X_3 + b_{12}^{0+k} X_1 X_2 + \dots + b_{123}^{0+k} X_1 X_2 X_3. \quad (1)$$

Коэффициент уравнения регрессии равен

$$b_{ij}^{0+k} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{u=1}^N X_{iu} X_{ju} \gamma_u^{0+k}. \quad (2)$$

Расчеты показали, что имеют следующие коэффициенты (таблица 3).

Полученные восемь регрессионных моделей позволяют оценить временное изменение прочности бетона в зависимости от солесодержания грунта и его влажности.

В дальнейшем будет произведена оценка точности моделей и оценка их адекватности на основе данных натурных измерений. Модель будет расширена и дополнена факторами, учитывающими свойства грунта, физические свойства бетона, и приведена к виду, удобному для пользования.

Предложенная методика оценки долговечности железобетонных электросетевых конструкций, в основе которой лежат восемь регрессионных моделей, позволяет оценить времен-

ное изменение прочности бетона в зависимости от грунтово-климатической характеристики региона. Заложённая в методику простейшая математическая модель может служить основой при получении более сложных и точных зависимостей.

Таблица 3 – Коэффициенты вида b_m^t уравнения регрессии

| <i>m</i> \ <i>t</i> | 0 | 0+0,5 | 0+1,0 | 0+1,5 | 0+2,0 | 0+2,5 | 0+3,0 | 0+3,5 |
|---------------------|-----|---------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
| 0 | 330 | 335,875 | 335,375 | 335,625 | 299,375 | 286 | 274 | 268 |
| 1 | 0 | -0,875 | -7,125 | -15,375 | -23,125 | -20 | -21 | -24,75 |
| 2 | 0 | -4,125 | -2,375 | -9,625 | -19,875 | -23,25 | -29,5 | -39,25 |
| 3 | 0 | -0,125 | 11,125 | -10,125 | -19,625 | -19,5 | -20,25 | -25 |
| 12 | 0 | -1,375 | 3,625 | 9,875 | 19,125 | 30,25 | 40,5 | 44 |
| 13 | 0 | -2,625 | -5,625 | -9,125 | -14,125 | -15 | -14,75 | -24,25 |
| 23 | | -2,625 | -2,875 | -10,375 | -11,875 | -15,75 | -13,75 | -18,25 |
| 123 | 0 | 0,5 | 1,125 | 16,625 | 3,125 | 3,25 | -1,25 | -1,5 |

Практическая значимость данной работы:

- владение информацией в полном объеме о наиболее опасных районах с точки зрения интенсивности коррозионных процессов;
- определение приоритетов и очередности проведения диагностических обследований железобетонных электросетевых конструкций;
- уточнение методов и моделей по прогнозированию остаточного ресурса конструкций;
- предусматривать наиболее стойкие с точки зрения коррозии материалы для разных территорий;
- обоснование сроков и объемов замен и ремонтов ЖБ ЭК.

Предложенная методика может быть использована для изучения условий эксплуатации различных электросетевых конструкций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Состояние железобетонных электросетевых конструкций в агрессивных условиях: науч. изд. /Б.В. Палагушкин, А.С. Герасименко, Д.С. Скотников, И.Л. Власов, Г.В. Иванов, С.В. Ивашкин, А.Г. Позднякова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -73 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *коррозия, срок службы, железобетон, карты, конструкции*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Скотников Дмитрий Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Ивашкин Сергей Владимирович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Мозилов Александр Иванович, канд. техн. наук, зам. генерального директора ЗАО «ЦЭИ»*
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
626152, г.Тобольск, ул.Ремезова, 72а, Тобольский филиал, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
630049, г.Новосибирск, ул.Красный проспект, 163/2, оф.404, ЗАО «ЦЭИ»

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ПРОВОДАХ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ ВАРИАЦИИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И НАГРУЗКИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Е.В. Петрова, А.Я. Бигун, С.С. Гиршин, Д.Е. Христич, К.В. Хацевский

INCREASING TINE ACCURACY OF THE CALCULATION OF THE TEMPERATURE AND THE ENERGY LOSS IN THE WIRES OF THE INCREASED BANDWIDTH UPON VARIATION WEATHER CONDITIONS AND LOAD

Omsk state technical university

E.V. Petrova, A.Ya. Bigun, S.S. Girshin, D.E. Khristich, K.V. Hatsevsky

The article describes the high-temperature wire of the increased bandwidth. Calculated the temperature of the wire and the loss of electricity in the wires of the increased bandwidth with the weather conditions and load variations.

Keywords: load, high temperature wire, loss of energy, temperature, wind, an error

Рассмотрены провода повышенной пропускной способности. Произведен расчет температуры провода и потери электрической энергии в проводах повышенной пропускной способности с учетом атмосферных факторов и вариации нагрузки.

В практике строительства современных ВЛ все более широкое применение находят самонесущие изолированные [1, 2] и высокотемпературные провода специального типа АССР (США) [3], TACSR/ACS, TACSR/HACIN (Австрия) [4], GTACSR (Япония) [5].

При значительном увеличении пропускной способности последние марки проводов удовлетворяют высокой электропроводности и механической прочности, малому температурному удлинению, высокой устойчивости к ветровому воздействию и старению, отличаются небольшой погонной массой. Опыт применения в Европе, Японии, Америке проводов с повышенной пропускной способностью насчитывает около двух десятков лет. Выходом на Российский рынок таких проводов можно считать 2008 год [6].

Одним из наиболее успешных решений задачи повышения пропускной способности воздушных линий является применение проводов марок TACSR/ACS, ZTACSR/ACS, TACSR/HACIN, ZTACSR/HACIN, производящихся компанией Lumpi-Berndorf (Австрия).

Устойчивость к высокой температуре и повышенной токовой нагрузке обеспечивается выполнением токопроводящих повивов из специальных термостойких сплавов TAL или ZTAL. Термостойкий сплав TAL состоит из алюминия и циркония. Добавка циркония повышает температуру кристаллизации алюминия и позволяет при высоких нагревах провода токопроводящим проволокам сохранять практически без изменения электрические и механические характеристики [6, 7].

Аналогом проводов марок TACSR/ACS, ZTACSR/ACS, TACSR/HACIN, ZTACSR/HACIN в России являются отечественные провода АСПТ АТ1/20АС [8]. По сравнению с проводом марки АС провод АСПТ АТ1/20АС может эксплуатироваться при температуре 150 °С.

Обладая целым рядом достоинств, высокотемпературные провода имеют особенности, которые можно отнести к недостаткам этих типов проводов. Одной из негативных особенностей является увеличение потерь электрической энергии, которые растут пропорционально квадрату тока. Увеличение рабочей температуры эксплуатации высокотемпературных проводов требует применения методов, учитывающих температурную зависимость активных сопротивлений [9-13].

Исходные данные для расчета температуры, потерь электрической энергии и возможных погрешностей расчета потерь в проводах повышенной пропускной способности при различных значениях температуры воздуха, скорости ветра и нагрузок представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для расчета по методу №1(V) [14-16] (при $k_v = 0,75$; $\varepsilon = 0,6$)

| Наименование параметра | АС 120/27 | АСПТ АТ1/20АС 120/27 | АС 300/39 | АСПТ АТ1/20АС 300/39 |
|--|--------------|----------------------|-----------|----------------------|
| Температура солнечной радиации $t_{рад}$, °С | 0 | | | |
| Скорость ветра v , м/с | 0,6 и 5 | | | |
| Среднегодовая температура, °С: – характерная для Московской области – характерная для Омской области | +9,2 +1,6 | | | |
| Диаметр провода d , мм | 15,4 | 15,4 | 24 | 24 |
| Сопротивление провода при температуре 20 °С R_{20} , Ом/км | 0,2531 | 0,2381 | 0,0958 | 0,0930 |
| Допустимый для провода ток I_d , А | 375,0 | 665,8 | 710,0 | 1264,2 |

В таблице 2 представлены результаты расчета в высокотемпературных и традиционных проводах.

Погрешности расчета потерь электрической энергии рассчитываются по формулам

$$\delta_1 = \frac{\Delta W_{20} - \Delta W_{t_e}}{\Delta W_{20}} 100\% = \alpha(20 - t_e) 100\%, \quad (1)$$

$$\delta_2 = \frac{\Delta W_{20} - \Delta W_{I,v,t}}{\Delta W_{20}} 100\% = \alpha(20 - t_{np}) 100\%, \quad (2)$$

где ΔW_{20} – потери электрической энергии при значении активного сопротивления R при температуре воздуха $t_e = 20$ °С;

ΔW_{t_e} – потери электрической энергии при значении активного сопротивления R зави-

сящего от значения температуры воздуха t_g ;

$\Delta W_{I,v,t}$ – потери электрической энергии при значении активного сопротивления R зависящего от значений температуры воздуха t_g , тока в проводнике I и скорости ветра v ;

α – температурный коэффициент активного сопротивления проводов.

Таблица 2 – Результаты расчета

| Город, | t_{cp} , °C | v , м/с | | АС 120/27 | АСПТ АТ1/20АС 120/27 | | АС 300/39 | АСПТ АТ1/20АС 300/39 | |
|--------|---------------|-----------|-------------------------|-----------|-------------------------|--------|-----------|-------------------------|--------|
| | | | t_n , °C | 70 | 70 | 150 | 70 | 70 | 150 |
| Омск | 1,6 | 0,6 | j , А/мм ² | 3,73 | 3,84 | 5,27 | 2,88 | 2,93 | 4,02 |
| | | | I , А | 447,6 | 460,8 | 632,4 | 864 | 879 | 1206 |
| | | | ΔP_{20} , Вт | 50707 | 50557 | 95223 | 71514 | 71887 | 135321 |
| | | | ΔP_{tcp} , Вт | 46975 | 46836 | 88214 | 66251 | 66596 | 125361 |
| | | | ΔP_{tpr} , Вт | 60849 | 60669 | 144739 | 85817 | 86264 | 205688 |
| | | | δ_1 % | 7.36 | 7.36 | 7.36 | 7,36 | 7,36 | 7,36 |
| | | | δ_2 % | -20 | -20 | -52 | -20 | -20 | -52 |
| | | 5 | j , А/мм ² | 7,26 | 7,49 | 10,08 | 5,56 | 5,64 | 7,6 |
| | | | I , А | 871.2 | 898.8 | 1209.6 | 1668 | 1692 | 2280 |
| | | | ΔP_{20} , Вт | 192100 | 192347 | 348372 | 266537 | 266361 | 483659 |
| | | | ΔP_{tcp} , Вт | 177962 | 178190 | 322732 | 246920 | 246757 | 448062 |
| | | | ΔP_{tpr} , Вт | 230520 | 230816 | 529525 | 319844 | 319633 | 735162 |
| | | | δ_1 % | 7.36 | 7.36 | 7.36 | 7,36 | 7,36 | 7,36 |
| | | | δ_2 % | -20 | -20 | -52 | -20 | -20 | -52 |
| Москва | 9,2 | 0,6 | j , А/мм ² | 3,53 | 3,64 | 5,16 | 2,74 | 2,77 | 3,94 |
| | | | I , А | 423.6 | 436.8 | 619.2 | 822 | 831 | 1182 |
| | | | ΔP_{20} , Вт | 44515 | 45428 | 91289 | 64731 | 64250 | 129988 |
| | | | ΔP_{tcp} , Вт | 43453 | 43466 | 87346 | 61934 | 61474 | 124373 |
| | | | ΔP_{tpr} , Вт | 54498 | 54513 | 138760 | 77677 | 77100 | 197582 |
| | | | δ_1 % | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 |
| | | | δ_2 % | -20 | -20 | -52 | -20 | -20 | -52 |
| | | 5 | j , А/мм ² | 6,85 | 7,1 | 9,8 | 5,24 | 5,32 | 7,4 |
| | | | I , А | 822 | 852 | 1176 | 1572 | 1596 | 2220 |
| | | | ΔP_{20} , Вт | 171016 | 172838 | 329287 | 236739 | 236993 | 458538 |
| | | | ΔP_{tcp} , Вт | 163628 | 165371 | 315061 | 226512 | 226755 | 438729 |
| | | | ΔP_{tpr} , Вт | 205219 | 207405 | 500515 | 284087 | 284392 | 696978 |
| | | | δ_1 % | 4.32 | 4.32 | 4.32 | 4,32 | 4,32 | 4,32 |
| | | | δ_2 % | -20 | -20 | -52 | -20 | -20 | -52 |

Потери электрической энергии без учета нагрузки и климатических факторов при температуре воздуха, равной температуре провода при 20 °C, определяется по формуле

$$\Delta W_{20} = R_{20} I^2, \quad (3)$$

где R_{20} – активное сопротивление при 20 °C;

I – ток протекающий по проводу.

Потери электрической энергии при температуре окружающего воздуха $t_g \neq 20$ °C и температуре провода $t_{np} \neq 20$ °C, при учете нагрузки и климатических условий высчитывается при помощи следующей формулы

$$\Delta W_{20} = I^2 R_{20} [1 + \alpha (t_{np} - 20)]. \quad (4)$$

На рисунке 1 и 2 представлены погрешности расчета потерь электрической энергии для

проводов АСПТ АТ1/20АС 120/27 и АСПТ АТ1/20АС 300/39 применительно к среднегодовым температурам города Омска ($t_{cp} = 1,6^\circ\text{C}$) и города Москвы ($t_{cp} = 9,2^\circ\text{C}$). Сравнение потерь электрической энергии $\Delta W_{20}, \Delta W_{t_e}, \Delta W_{I,v,t}$ показывает, что ΔW_{20} для обоих регионов превышает ΔW_{t_e} . Погрешность δ_1 составляет 4,3% для Московского региона и 7,4% для Омского региона. Потери электрической энергии $\Delta W_{I,v,t}$ при увеличении t_e и тока растут. С увеличением скорости ветра естественно улучшаются условия охлаждения провода. Поэтому нагрев проводов и, следовательно $\Delta W_{I,v,t}$ при больших скоростях ветра будут иметь менее зависимый от тока характер. Представленные на рисунке 1 и 2 зависимости показывают, что при малых плотностях тока определяющее влияние на потери электрической энергии оказывает t_e , с увеличением загрузки линии ведущее влияние на потери энергии оказывает величина тока нагрузки. При увеличении загрузки линии, как следует из значений δ_2 , фактические потери $\Delta W_{t_e,I,v}$ преобладают над ΔW_{20} за счет интенсивного тепловыделения. Значения δ_2 составляют 20% для $t_{np} = 70^\circ\text{C}$; и 52% для $t_{np} = 150^\circ\text{C}$ независимо от скорости ветра и среднегодовой температуры, так как погрешность расчетов зависит только от температуры, что подтверждается выражениями (1) и (2).

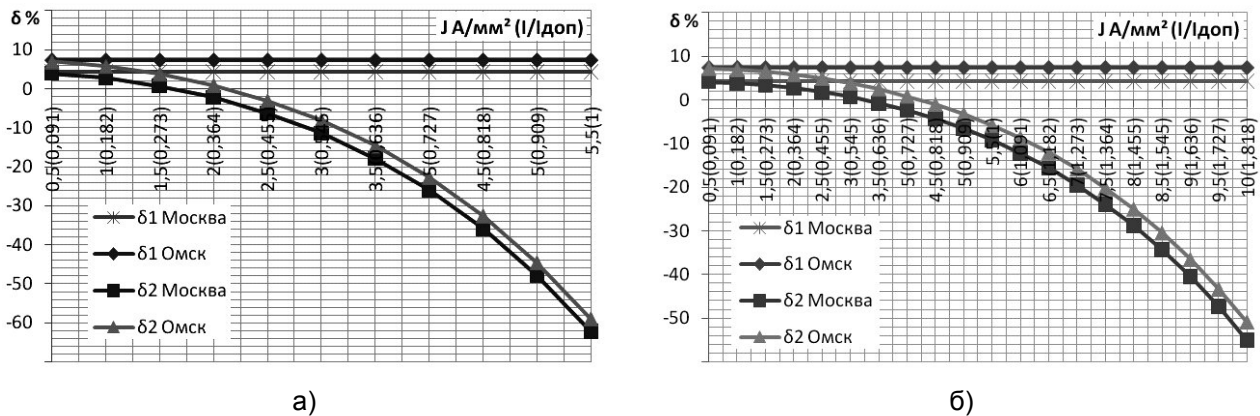


Рисунок 1 – Погрешностей расчета переменных потерь электроэнергии от коэффициента загрузки в проводе АСПТ АТ1/20АС 120/27 для среднемесячных температур г.Омска и Московской области при скорости ветра: а) 0,6 м/с; б) 5 м/с

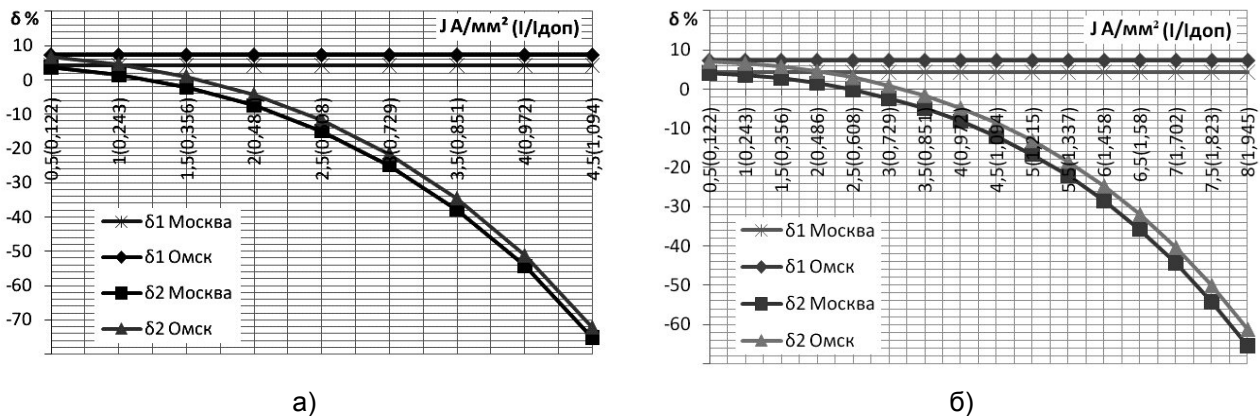


Рисунок 2 – Погрешностей расчета переменных потерь электроэнергии от коэффициента загрузки в проводе АСПТ АТ1/20АС 300/39 для среднемесячных температур г.Омска и Московской области при скорости ветра: а) 0,6 м/с; б) 5 м/с

При максимальной нагрузке проводов марок АСПТ АТ1/20АС передаваемая мощность в среднем увеличивается в 1,4 раза по сравнению с проводами марки провода АС, но в тоже время потери в высокотемпературных проводах увеличивается в 2,4 раза. Негативным фактором является и то, что стоимость провода АСПТ АТ1/20АС 120/27 (89976 руб./км) практически в два раза выше чем стоимость провода АС 120/27 (48600 руб./км). Приведенные обстоятельства указывают на целесообразность строгого технико-экономического обоснования замены проводов АС на АСПТ АТ1/20АС в сетях электроэнергетических систем.

При анализе результатов также было замечено, что находимые потери электрической энергии на основе [17] с учетом температуры воздуха t_a в регионах со среднегодовой температурой воздуха не превышающей 20 °С будут меньше, чем при расчетах с температурой 20 °С. Расчет при температуре равной 20 °С выгоден для электро снабжающих компаний, находящихся в регионах, где средняя температура не превышает 20 °С и нагрузка линий незначительная. С этой точки зрения сетевые организации в регионах со среднегодовой температурой меньше 20 °С и при малых нагрузках линий не заинтересованы повышать точность расчета потерь и, как правило, расчеты ведутся через сопротивления провода при температуре 20 °С. Заинтересованной стороной является государство, так как повышение точности расчета и снижение нормативов заставит сетевые организации более тщательно заниматься поиском, уменьшением или устранением источников потерь. При увеличении нагрузки линии электропередачи температуры проводов этих линий растут и даже для «холодных» регионов могут превышать потери, находимые через сопротивления при 20 °С. Такие случаи особенно характерны для линий с высокотемпературными проводами, температура эксплуатации, которых, как правило, превышает 20 °С и температуру воздуха. Представляется, что потери электрической энергии в высокотемпературных проводах в целом ряде случаев будут превышать потери при температуре 20 °С и при температуре воздуха. В этой ситуации сетевые организации заинтересованы в повышении точности расчета потерь.

Таким образом, необходимость уменьшения возможных финансовых потерь из-за неточного определения нормативов потерь электрической энергии при возрастании нагрузок в традиционных и, особенно, в высокотемпературных проводах требует повышения точности расчета потерь путем учета реальной температуры провода t_{np} . Аналогичная задача ставится при решении проблем энергосбережения за счет поиска и уменьшения источников потерь. В связи с этим для расчета потерь необходимо брать реальную температуру провода, рассчитанную с учетом величины ветра и его направления, нагрузки провода и температуры окружающего воздуха.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, В.Н. Горюнов, А.А. Левченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 171-175.
- 2 Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах / В.Н. Горюнов, А.А. Бубенчиков, С.С. Гиршин, Е.В. Петрова, А.А. Левченко // Омск. науч. вестн. -2009. -№1(77). -С. 106-108.
- 3 3М Электротехническое оборудование. Алюминиевый композитный усиленный провод 3М™ ACCR для ЛЭП свыше 1000 В [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://solutions.3mrussia.ru/3MContentRetrievalAPI/BlobServlet?lmd=1351576894000&locale=ru_RU&assetType=MMM_Image&assetId=1319240836570&blobAttribute=ImageFile/. -04.03.2013.
- 4 Высокотемпературные провода [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.essp.ru/production/catalog/partners/CROSSY/provoda%20lumpi.php/>. -04.03.2013.
- 5 Pilot installation of GTACSR conductors in the Spanish power system / A.J. Mazon, I. Zamora, R. Criado, C. Alonso, R. Medina, I. Albizu // 18th International Conference on Electricity Distribution CIGRE, 2005. Turin, 6-9 June.
- 6 Петрова, Е.В. Современные типы высокотемпературных проводов воздушных линий электроэнергетических систем повышенной пропускной способности / Е.В. Петрова // Энергетика и энергосбережение: межвуз. темат. сб. науч. тр. / ОмГТУ. -2011. -С. 220-225.
- 7 Колосов, С.В. Повышение пропускной способности ВЛ: анализ технических решений / С.В. Колосов // Энергетик. -2011. -№1. -С. 18-22.
- 8 Провод неизолированный из термостойкого алюминиевого сплава с сердечником из стальной проволоки плакированной алюминием (Провод АСПТ) [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://n-er.ru/shop/provod/provod-aspt/>. -04.03.2013.
- 9 Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, Е.В. Петрова, В.Н. Горюнов // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 176-179.
- 10 Вырва, А.А. Уточнение формул для анализа температуры проводов ВЛ в задачах расчета потерь электрической энергии / А.А. Вырва, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 120-126.
- 11 Коррекция технологических потерь электрической энергии ВЛ 35 кВ электрических сетей ООО «Роснефть-Юганскнефтегаз» на основе учета климатических и режимных условий / В.А. Бурчевский [и др.] // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 127-132.
- 12 Повышение точности расчета технологических потерь электрической энергии в ВЛ на основе учета режимных и климатических факторов / А.В. Дед, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, А.С. Петров, Е.В. Петрова, В.В. Тевс // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 114-119.
- 13 Упрощение уравнений теплового баланса воздушных линий электропередачи в задачах расчета потерь энергии / С.С. Гиршин [и др.] // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 148-151.
- 14 Исследование преимуществ усовершенствованного метода расчета потерь в воздушных линиях электропередачи при вариации токов нагрузки и погодных условий / Е.В. Петрова, Н.В. Кириченко, Е.В. Птицына, А.В. Юша // Омск. науч. вестн. -2012. -№2(110). -С. 223-228.
- 15 Совершенствование расчетов потерь в воздушных линиях электроэнергетических систем по результатам численного моделирования в условиях вариации нагрузки / Е.В. Петрова, А.Я. Бигун, Е.В. Птицына, А.Г. Янишевская // Омск. науч. вестн. -2012. -№1(107). -С. 242-247.
- 16 Кириченко, Н.В. Анализ результатов моделирования температуры неизолированных проводов воздушных линий электроэнергетических систем с учетом влияния солнечной радиации / Н.В. Кириченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 164-168.
- 17 Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологи-

ческих потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям: утв. приказом Минэнерго Рос. Федерации от 30 дек. 2008 г. №326 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://kuzenergo.com/normativy_potery_elektroenergii. -04.03.2013.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нагрузка, высокотемпературные провода, потери энергии, температура, ветер, погрешность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Петрова Елена Владимировна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Бигун Александр Ярославович, инженер ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Гиршин Станислав Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Христин Дмитрий Евгеньевич, инженер ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Хацевский Константин Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫМИ МАГНИТАМИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»
ООО «Институт Микроприбор»

А.Г. Лютаревич, А.В. Грузд, Е.А. Лохман

CALCULATING METHOD DC MOTOR WITH HIGH ENERGY MAGNETS

Institute Micropribor
Omsk state technical university
A.G. Lyutarevich, A.V. Gruzd, E.A. Lohman

The article is devoted to the calculating method of the DC motor with high energy magnets.

Keywords: electric motor with permanent magnets

Приведена разработанная методика расчета электродвигателя постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами.

В различных отраслях техники широкое распространение получили моментные электродвигатели. Моментным двигателем (МД) называется такой электродвигатель, ротор которого вращается с малой скоростью, при этом двигатель имеет наибольший крутящий момент [1].

За последние годы вентильные моментные электродвигатели заняли прочное положение в производственных программах ведущих зарубежных электромашиностроительных компаний. Кроме того, в большинстве каталогов готовой продукции этих компаний вентильные двигатели с постоянными магнитами представлены на первом месте.

В 80-х годах прошлого столетия в России были разработаны и освоены привода специального назначения, и если электромагнитная часть актуальна по настоящее время, то системы с аналоговым управлением, и системы мало-интегрированные цифровые на сегодняшний день не пригодны из-за больших габаритов и веса, и не обеспечивают возросшие требования современного рынка. Таким образом, жесткие условия рыночной экономики, диктующие стремление производить конкурентоспособную продукцию, заставляют многие предприятия заниматься разработкой новых изделий с использованием мирового передового опыта.

Таким образом, исследования в области электродвигателей с высококоэрцитивными магнитами является актуальным и перспективным направлением, несмотря на то, что содержат огромное количество сложных многосторонних задач, решение которых создаст возможность для более широкого применения электродвигателей данного типа в различных отраслях науки и техники.

Исходными данными для расчета электродвигателя являются:

- номинальный вращающий момент, Н·м;
- максимальный вращающий момент, Н·м;
- частота вращения, об/мин;
- напряжение питания U_H , В;
- коэффициент полезного действия, %.

Также к дополнительным требованиям можно отнести: режим работы, условия работы, способ охлаждения, форма механической и регулировочной характеристики двигателя и другие условия.

Расчет электрического двигателя с постоянными магнитами, как и любой электрической

машины, разделяется на две части [2-4]:

- 1) определение основных размеров;
- 2) проверочный электромагнитный расчет.

В задачу определения основных размеров входят:

- выбор типа ротора и всей магнитной системы;
- выбор и расчет оптимальных размеров отдельных частей машины;
- выбор и расчет обмотки якоря.

Основными размерами электрической машины являются диаметр якоря D , его длина ℓ и величина воздушного зазора δ . По величинам D и ℓ определяем размеры и конструкцию всех элементов машины: полюсов, внешний диаметр статора, размеры вала и др. Они влияют на массу, технико-экономические, производственные и эксплуатационные характеристики, а также надежность машины. Для определения основных размеров пользуются известным выражением для машинной постоянной [2]

$$C_A = \frac{D^2 \ell_i n}{P'} = \frac{6,1 \cdot 10^7}{\alpha_i k_\phi k_o A B_\delta},$$

или

$$D^2 \ell_i = \frac{6,1 \cdot 10^7 P'}{\alpha_i k_\phi k_o A B_\delta n}, \quad (1)$$

где D – диаметр якоря;

ℓ_i – расчетная длина якоря;

P' – расчетная мощность;

α_i – расчетный коэффициент полюсного перекрытия;

k_ϕ – коэффициент формы кривой поля;

k_o – обмоточный коэффициент;

A – линейная нагрузка;

B_δ – индукция в воздушном зазоре;

n – номинальная частота вращения ротора.

Расчетную мощность электродвигателя определим по выражению

$$P' = \frac{k_e P_{\text{мех}}}{\eta}, \quad (2)$$

где $P_{\text{мех}}$ – номинальная мощность на валу электродвигателя

$$P_{\text{мех}} = M_n \omega;$$

k_e – коэффициент, учитывающий внутреннее падение напряжения в двигателе

$$k_e = \frac{E}{U};$$

E – внутренняя ЭДС якоря.

Расчетный коэффициент полюсного перекрытия $\alpha_i = b_i / \tau$ является функцией конструктивного коэффициента полюсного перекрытия $\alpha_p = b_p / \tau$ и отношения минимального воздушного зазора δ к максимальному $\delta_{\text{макс}}$. Коэффициент формы поля k_ϕ является функцией $\alpha_p = b_p / \tau$ и отношения $\delta_{\text{макс}} / \delta$. При синусоидальной форме поля $k_\phi = 1,11$. Обмоточный коэффициент [2]

$$k_o = k_y k_p k_{\text{ск}},$$

где k_y – коэффициент укорочения;

k_p – коэффициент распределения;

$k_{\text{ск}}$ – коэффициент скоса.

Электромагнитные нагрузки – линейная нагрузка A и индукция в воздушном зазоре B_δ – сильно влияют на размеры электрической машины. Как следует из уравнения (1), увеличение произведения $A B_\delta$, характеризующего электромагнитную мощность, приводит к уменьшению размеров якоря. Однако увеличение произведения $A B_\delta$ ограничивается тем, что начиная с некоторого его значения ухудшаются характеристики электродвигателя, кроме того, это приводит к перегреву, а также к увеличению внешних массогабаритных показателей.

Подстановка в уравнение (1) выбранных значений α_i , k_ϕ , k_o , A , B_δ , а также подсчитан-

ной расчетной величины P' и заданной частоты вращения n не позволяет окончательно определить диаметр D и расчетную длину ℓ_j . Для того чтобы однозначно определить величины D и ℓ_j , необходимо наложить условие определенного значения отношения $\lambda = \ell_j/D$, тогда из выражения (1) получаем

$$D = \sqrt[3]{\frac{6,1 \cdot 10^7 P'}{\alpha_j k_\phi k_o AB_\delta n \lambda}} \quad (3)$$

Выбор величины λ не является произвольным, задача сводится к определению такого значения, при котором электродвигатель имел бы наименьшие размеры, массу и стоимость.

Известное расчетное значение диаметра якоря D позволяет предварительно определить наружный диаметр двигателя

$$D_n = k_{дн} D,$$

где $k_{дн}$ – коэффициент, учитывающий соотношение между D_n и D , являющийся функцией числа пар полюсов.

При заданных значениях линейной нагрузки, мощности, частоты напряжения и числе пар полюсов удельный объем (на единицу мощности) постоянного магнита определяется выражением

$$\bar{V}_M = \frac{V_M}{P_H} = \frac{p \cdot k_e}{8k_\phi k_o f B_{\delta cp} A} \quad (4)$$

Для явнополюсных синхронных электродвигателей форма кривой поля зависит от формы постоянного магнита, очертания полюсного наконечника, длины полюсной дуги b_p . Для улучшения формы поля воздушный зазор делают неравномерным, изменяющимся по закону

$$\delta_x = \frac{\delta}{\cos\left(\pi \frac{x}{\tau}\right)} \quad (5)$$

Соотношение $\delta_{\max}/\delta = 1,5-2,5$ позволяет получить форму поля близкую к синусоидальной.

С применением ЭВМ проводится моделирование магнитных полей методом конечных элементов в программе ELCUT. Метод конечных элементов достаточно часто используется при моделировании электродвигателей с постоянными магнитами [5-7]. По результатам расчета проводится уточнение размеров электрической машины, проверяется форма поля и рабочая индукция в зазоре. Результаты моделирования приведены на рисунке 1.

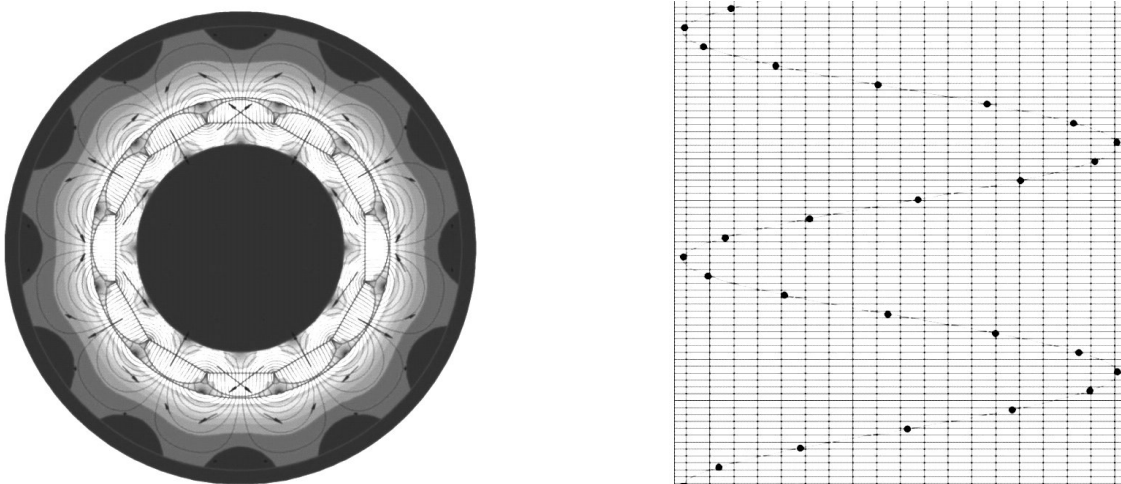


Рисунок 1 – Результаты моделирования синусоидальной индукции в зазоре в программе ELCUT

Зная величины расчетной ЭДС E_ϕ , частоты f и магнитного потока Φ_δ , определяем число витков в фазе обмотки

$$W_\phi = \frac{E_\phi}{4k_\phi k_o f \Phi_\delta} = \frac{k_e U_H}{k_\phi k_o f \Phi_\delta}, \quad (6)$$

где Φ_δ – расчетная величина потока

$$\Phi_{\delta} = \alpha_i \tau \ell_i B_{\delta}.$$

Для дальнейшего расчета обмотки якоря необходимо задаться допустимой плотностью тока в обмотке якоря j , по величине номинального тока определяется требуемое сечение провода

$$S = \frac{I_H}{j}, \quad (7)$$

где I_H – номинальный ток

$$I_H = \frac{P}{mU_{\phi}}.$$

Плотность тока в обмотке якоря зависит от ряда параметров, и в общем случае плотность тока находится в пределах от 5 до 40 А/мм². Проверяется возможность размещения обмотки в заданном объеме, при необходимости уточняются плотность тока, число витков, размеры электрической машины, а затем проводится моделирование магнитных полей.

Активное сопротивление обмотки в радиальных электрических машинах с пазовым и беспазовым статором определяется выражением

$$R_{\phi} = \rho_t L_{cp} W_{\phi}, \quad (8)$$

где ρ_t – удельное сопротивление при рабочей температуре;

L_{cp} – средняя длина витка.

Потери в электрической машине с постоянными магнитами складываются из джоулевых потерь в обмотке статора, потерь в стали магнитопровода статора и механических потерь. Джоулевы потери определяются по выражению

$$P_m = m I_{\phi}^2 R_{\phi}. \quad (9)$$

Кроме того, необходимо определить потери в стали ярма статора. В беспазовых электрических машинах потери в стали магнитопровода (ярма) записываются в виде [2]

$$P_j = k_{\Delta} P_{1/400} B_j^2 M_j \left(\frac{f}{400} \right)^{1.5}, \quad (10)$$

где k_{Δ} – коэффициент, учитывающий увеличение потерь в стали в результате технологической обработки;

$P_{1/400}$ – удельные потери в стали при индукции 1 Тл и частоте 400 Гц;

M_j – масса ярма, кг.

Механические потери состоят из аэродинамических потерь и потерь в подшипниках. Аэродинамические потери на трение о воздух в низкоскоростных моментных двигателях малы и ими можно пренебречь. Потери на трение в подшипниках определяются по формуле

$$P_{подш} = 0,0015 \frac{G_n V_{\omega}}{d_{\omega}}, \quad (11)$$

где G_n – нагрузка на подшипник;

d_{ω} – диаметр окружности центров шариков;

V_{ω} – окружная скорость центров шариков.

КПД электрической машины определяется по следующей расчетной формуле

$$\eta = 1 - \frac{\Delta P_{\Sigma}}{P}, \quad (12)$$

где P – полезная мощность на валу электродвигателя;

ΔP_{Σ} – сумма потерь в электрической машине.

Далее при необходимости уточняются некоторые параметры, проводится повторный расчет электрической машины.

На основе представленной методики произведена сборка и отладка электродвигателя (рисунок 2). Также проведены испытания и сняты основные рабочие характеристики.

В ходе выполнения работы была разработана методика расчета электродвигателя постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами, позволяющая по исходным данным (номинальному и максимальному вращающим моментам, частоте вращения, напряжению питания и коэффициенту полезного действия) получать основные параметры электрической машины, что упрощает этап проектирования электродвигателей с постоянными магнитами.

На основании полученного расчета проведено моделирование синусоидальной индукции в зазоре методом конечных элементов с помощью программного комплекса ELCUT. Результаты моделирования указывают на корректность расчетов, проведенных по разработанной методике. Также был изготовлен и собран электродвигатель.

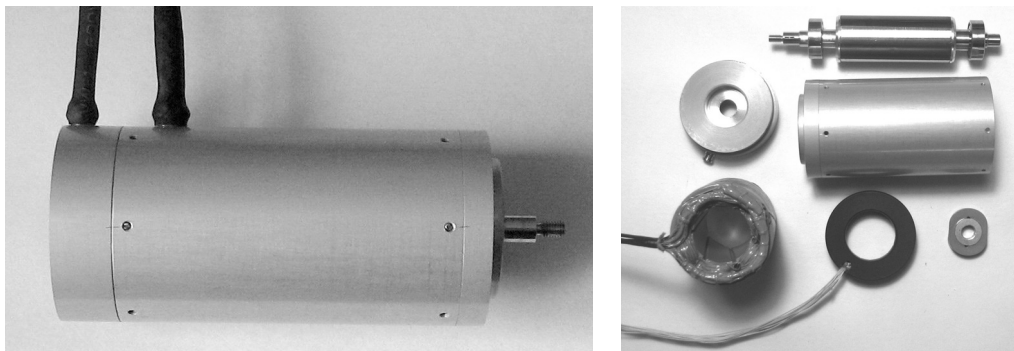


Рисунок 2 – Электродвигатель постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами

Результаты исследований показывают, что разработанный электродвигатель постоянного тока с высококоэрцитивными магнитами по основным техническим параметрам, определяющим его качественные характеристики, не уступает существующим российским и иностранным аналогам.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Лебедев, Н.И. Бесконтактные двигатели постоянного тока / Н.И. Лебедев, И.Е. Овчинников. -Л.: Наука, 1979. -270 с.
- 2 Хрущев, В.В. Электрические машины систем автоматики / В.В. Хрущев. -М.: Энергоатомиздат, 1985. -384 с.
- 3 Хрущев, В.В. Трехфазные индукторные электрические машины с электромагнитной редукцией частоты вращения: учеб. пособие / В.В. Хрущев. -СПб.: СПбГУАП, 2005. -76 с.
- 4 Хрущев, В.В. Электрические микромашины автоматических устройств: учеб. пособие для вузов. -Л.: Энергия, 1976. -384 с.
- 5 Горюнов, В.Н. Расчет трехмерных полей в электрических машинах с высококоэрцитивными магнитами / В.Н. Горюнов, В.З. Ковалев, Д.Г. Ходько // Электричество. -1991. -№5. -С. 15-19.
- 6 Выбор рационального направления намагниченности постоянных магнитов-модулей и составных магнитов в устройствах электромеханики / В.Н. Горюнов [и др.] // Электротехника. -1993. -№1. -С. 65-70.
- 7 Горюнов, В.Н. Конечноэлементные модели линейных двигателей с постоянными магнитами / В.Н. Горюнов, В.Э. Тиль, Л.Е. Серкова // Электротехника. -1994. -№2. -С. 11-16.

Работа выполнена при государственной финансовой поддержке Минобрнауки России, а также Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *электрический двигатель с постоянными магнитами*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Лютаревич Александр Геннадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Грузд Александр Васильевич, директор ООО «Институт Микроприбор»
Лохман Евгений Артурович, инженер ООО «Институт Микроприбор»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 41, ООО «Институт Микроприбор»*

УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА ПРИ ВЫБОРЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Е.В. Петрова, С.С. Гиршин, В.Н. Горюнов, Д.Е. Христин

**ACCOUNTING FOR THE TEMPERATURE DEPENDENCE OF THE RESISTANCE OF BARE WIRE IN SELECTING MEASURES TO
REDUCE ENERGY LOSSES BY THE EXAMPLE OF REACTIVE POWER COMPENSATION**

**Omsk state technical university
E.V. Petrova, S.S. Girshin, V.N. Goryunov, D.E. Khristich**

The paper studied the effect of the temperature dependence of the resistance on the selection result of measures to reduce electricity losses by the example of reactive power compensation. Describes the two stages in the implementation of these measures and their adjustment, taking into account the temperature of the network elements.

Keywords: loss, bare wire, capacitor banks, measures to reduce losses, temperature

Исследовано влияние температурной зависимости сопротивления на результат выбора мероприятий по снижению потерь электрической энергии на примере компенсации реактивной мощности. Описаны два этапа при реализации данных мероприятий и их уточнение при учете температуры элементов сети.

В Российской Федерации 23 ноября 2009 года принят Федеральный закон №261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации». Согласно этому закону экономия энергетических ресурсов в России является актуальной стратегической проблемой, от решения которой во многом зависит прогресс отечественной экономики. Важным направлением энергосбережения и энергоэффективности является уменьшение потерь электрической энергии в электрических сетях. В Государственной программе Российской Федерации «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности на период до 2020 года», утвержденной Распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 года, поставлены задачи уменьшения потерь энергии в электрических сетях. Реализация мероприятий подпрограммы «Энергосбережение и повышение энергетической эффективности в электроэнергетике» должна обеспечить уменьшение потерь в электрических сетях до 8-9% к 2020 году [1].

В этих условиях важным является повышение достоверности нахождения источников потерь и выбора мероприятий уменьшения потерь, а также улучшение качества электрической энергии [2-6]. Целью данной статьи является попытка доказательства, что перечисленные выше задачи могут быть успешно решены в случае увеличения точности определения потерь, обеспечивающей детальный анализ параметров, влияющих на их уровень. Представляется, что наиболее значимым является учет тех параметров, которые сами являются функцией от вводимых мероприятий по снижению потерь. К числу таких параметров относится температурная зависимость активных сопротивлений элементов электрической сети [7-14].

В соответствии с законом Джоуля-Ленца прохождение электрического тока по проводнику инициирует выделение теплоты согласно уравнению [13]

$$Q = I^2 R_t, \quad (1)$$

где I – сила тока;

R_t – электрическое сопротивление проводника.

Для токов промышленной частоты это тепло можно считать равномерно выделяющимся по всему сечению проводника, т.е. можно допустить, что в проводнике имеются равномерно распределенные внутренние источники тепла с соответствующей плотностью

$$q_{v, np} = \frac{I^2 \rho_{20} [1 + a(t_{np} - 20)]}{F^2}, \quad (2)$$

где F – площадь поперечного сечения токопроводящей жилы;

ρ_{20} – удельное сопротивление проводника при температуре 20 °С;

a – температурный коэффициент активного сопротивления алюминиевых проводов, $a = 0,00403$ 1/°С;

t_{np} – температура проводника, °С.

Как следует из уравнений (1) и (2) количество выделенного тепла, а следовательно, потеря электрической энергии зависит от температуры проводника. Зависимости активного сопротивления провода и потерь активной мощности от температуры проводника можно также представить соотношениями

$$R_t = R_{20} [1 + a(t_{np} - 20)]; \Delta P_t = I^2 R_t = I^2 R_{20} [1 + a(t_{np} - 20)], \quad (3)$$

где R_t, R_{20} – активные сопротивления соответственно при температурах t и 20°С.

Погрешность определения сопротивления, а также потерь активной мощности и энергии в зависимости от температуры провода по отношению к справочным данным (табл.1) определяются уравнением

$$\delta = \frac{R_{20} - R_{20} [1 + a(t_{np} - 20)]}{R_{20}} 100\% = a(t_{np} - 20) 100\%. \quad (4)$$

Как следует из таблицы 1, значение погрешности может достичь 104%. Значительные величины погрешностей являются одной из причин целого ряда публикаций, направленных на целесообразность учета реальной температуры провода для совершенствования суще-

ствующих методов расчета потерь электрической энергии в воздушных линиях электропередач. Однако практический интерес представляет не столько повышение точности расчета, сколько степень уменьшения потерь за счет выбора соответствующих мероприятий.

Таблица 1 – Диапазон неопределенности потерь активной мощности, найденный без учета изменения температуры провода

| Марка провода | Температура эксплуатации, °С | Диапазон неопределенности потерь, % |
|---------------|------------------------------|-------------------------------------|
| АС | -50...+90 | 56 |
| СИП-1 | -50...+70 | 48 |
| СИП-2 | -50...+90 | 56 |
| СИП-3 | -50...+90 | 56 |
| СИП-4 | -50...+90 | 56 |
| TACSR/HACIN* | -50...+210 | 104 |
| TACSR/ACS* | -50...+150 | 80 |
| GTACSR* | -50...+150 | 80 |
| ACCR* | -50...+210 | 104 |

*-высокотемпературные провода повышенной пропускной способности

На практике используется ряд мероприятий, направленных на уменьшение потерь в электрических сетях. Реализация конкретных мероприятий предусматривает два этапа [2]:

- расчет оптимального воздействия (оптимального способа введения мероприятия);
- технико-экономическое обоснование (определение срока окупаемости).

Одним из наиболее популярных мероприятий по снижению потерь энергии в электрических сетях, является компенсация реактивной мощности. Именно это мероприятие рассматривается в качестве экспертного при доказательстве эффективности повышения точности расчета потерь путем учета температурной зависимости сопротивлений сети. Аналогичная задача для сети с изолированными проводами решалась в работе [2]. В данной работе исследуется сеть с неизолированными проводами, а также используется иная чем в [2] модель расчета температуры токопроводящих жил. Оптимальный выбор параметров компенсирующих устройств и определение сроков окупаемости проводятся на примере неразветвленной сети (рисунок 1) с БСК типа УКЛ-6 на номинальное напряжение 10,5 кВ [2, 15]. Условия проведения исследований представлены в таблице 2 [16-18].

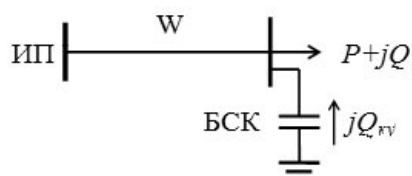


Рисунок 1 – Неразветвленная сеть: P, Q – активная и реактивная мощности нагрузки; Q_{кв} – реактивная мощность компенсирующего устройства (высоковольтной БСК); ИП – источник питания

На первом этапе решается задача оптимального выбора БСК в узле 10 кВ по критерию минимума приведенных затрат. Выбор параметров только высоковольтных БСК объясняется стремлением упростить поставленную задачу, так как, в общем случае, нагрузка образуется низковольтной (0,4 кВ) и высоковольтной (10 кВ) составляющими, а, следовательно, необходимо выбирать БСК на оба класса напряжений. Кроме того, при моделировании необходимо учитывать и наличие трансформатора 10/0,4 кВ. Указанный упрощенный подход в работе объясняется тем, что задача оптимального выбора высоковольтной и низковольтной БСК условно независимы, так как при оптимальном выборе БСК (10 кВ) оптимальная мощность БСК (0,4 кВ) не зависит от параметров линии 10 кВ, а только является функцией параметров трансформатора 10/0,4 кВ, а также соответствующих удельных стоимостей и собственных потерь БСК обоих классов напряжений.

Поставленная задача оптимизации можно решать на базе приближенного выражения для годовых приведенных затрат [19-20]

$$Z = E_n K + I = (E_n + a_p) K + C_3 T (\Delta P_n + \Delta P_{кв}) = (E_n + a_p) K + C_3 T \left[\frac{P^2 + (Q - Q_{кв})^2}{U^2} R + p_{уд} Q_{кв} \right], \quad (5)$$

где K – капиталовложения на установку БСК;
 E_H – коэффициент приведения капиталовложений;
 I – годовые эксплуатационные издержки;
 a_p – норма ежегодных отчислений на ремонт, обслуживание и амортизацию электрооборудования;
 C_3 – стоимость электроэнергии;
 $\Delta P_l, \Delta P_{кв}$ – потери мощности соответственно в линии и в БСК;
 T – интегрирующий множитель, переводящий потери мощности в потери энергии и имеющий размерность времени;
 U – напряжение сети;
 R – активное сопротивление линии;
 $\rho_{уд}$ – удельные потери активной мощности в БСК.

Таблица 2 – Параметры проводов

| Наименование и обозначение параметров | Численные значения (допущения) | |
|---|---|--------|
| | АС-50 | АС-240 |
| Значение сопротивления проводов при нагреве до 200 °С | $R = R_0 (1 + \alpha t_{пр})$ | |
| Погонное активное сопротивление провода при 20 °С, Ом/км | 0,5951 | 0,118 |
| Радиус жилы провода, мм | 4,8 | 10,8 |
| Температурный коэффициент сопротивления α , 1/°С | 0,00403 | |
| Степень черноты поверхности провода ε | 0,6 | |
| Температура воздуха t_a , °С | 1,7 | |
| Атмосферное давление $P_{атм}$, Па | 100000 | |
| Скорость ветра V , м/с | 1 | |
| Средняя дневная сумма солнечной радиации E , кВт·ч/м ² | 5,5 | |
| Количество теплоты, полученное одним метром провода в единицу времени за счет солнечной радиации W_s , Вт/м | 4 | 9 |
| Интегрирующий множитель, переводящий потери мощности в потери энергии, T , ч | 5000 (одинакова для потерь в линии и в БСК) | |
| Стоимость электроэнергии C_3 , руб/(кВт·ч) | 2,098 | |
| Коэффициент приведения капиталовложений E_H , 1/год | 0,14 | |
| Норма ежегодных отчислений на ремонт, обслуживание и амортизацию электрооборудования a_p | 0,059 | |
| Удельные потери активной мощности в БСК $\rho_{уд}$, кВт/квар | 0,002 | |
| Напряжение в узле нагрузки | не меняется | |
| Температура провода при отсутствии БСК | близка к максимально допустимой, но не превышает её | |

Уравнения для определения оптимального значения реактивной мощности батареи статических конденсаторов $Q_{кв,опт}$ без учета и в случае учета температурной зависимости сопротивлений соответственно имеют вид [2]:

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{кв}} = (E_H + a_p) \frac{\partial K}{\partial Q_{кв}} - 2C_3 T \frac{Q - Q_{кв,опт}}{U^2} R + C_3 T \rho_{уд} = 0; \quad (6)$$

$$\frac{\partial Z}{\partial Q_{кв}} = (E_H + a_p) \frac{\partial K}{\partial Q_{кв}} - 2C_3 T \frac{Q - Q_{кв,опт}}{U^2} R + C_3 T \frac{P^2 + (Q - Q_{кв,опт})^2}{U^2} \frac{\partial R}{\partial Q_{кв}} + C_3 T \rho_{уд} = 0. \quad (7)$$

Анализ уравнений (6) и (7) показывает, что оптимальная мощность БСК, найденная по уравнению (7) должна быть больше соответствующей величины, определенной по уравнению (6). Данный факт обусловлен отрицательным значением производной активного сопротивления по мощности $dR/dQ_{кв}$. Действительно при увеличении $Q_{кв}$ линия разгружается, а температура и, следовательно, активное сопротивление проводов уменьшаются. Исключение представляет случай, когда при низкой температуре окружающей среды одновременно имеет место низкая нагрузка линии. Но с точки зрения величины потерь этот случай не заслуживает подробного рассмотрения.

Вычисление температуры производилось на основе следующей математической модели теплового режима неизолированного провода [1, 12, 14]

$$0,95R_{20} [1 + a(t_{np} - 20)] I^2 = \varepsilon C (273 + t_{np})^4 \pi d + a_k (t_{np} - t_{\varepsilon}) \pi d + \varepsilon S_s d, \quad (8)$$

где R_{20} – удельное активное сопротивление постоянному току;

a – температурный коэффициент электрического сопротивления сталеалюминевых проводов, $a = 0,00403 \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$;

t_{np} – температура провода, $^{\circ}\text{C}$;

t_{ε} – температура воздуха;

I – рабочий ток, А;

ε – степень черноты поверхности провода;

C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт/м}^2$;

d – диаметр провода, м;

a_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией [21], $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^{\circ}\text{C})$;

S_s – интенсивность солнечной радиации, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

Результаты исследований по первому этапу представлены в таблице 3 и 4. Определение степени увеличения оптимальной мощности с учетом нагрева $Q_{ky,онт.t}$ относительно к оптимальной мощности без учета нагрева $Q_{ky,онт}$ выполняется по формуле

$$\varepsilon_1 = \frac{Q_{ky,онт.t} - Q_{ky,онт}}{Q_{ky,онт}} 100\%. \quad (9)$$

Таблица 3 – Оптимальные мощности БСК для провода АС-50 при мощностях нагрузки $P = 3300 \text{ кВт}$, $Q = 2500 \text{ квар}$

| Длина линии, м | Q_{ky} , квар | Стоимость БСК, тыс. руб. | З, тыс. руб. | | $Q_{ky,онт}$, квар | | ε_1 , % |
|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | | | без учета t_{np} | с учетом t_{np} | без учета t_{np} | с учетом t_{np} | |
| 200 | 900 | 169,4 | 220,528 | 241,847 | 900 | 1350 | 50 |
| | 1350 | 215,2 | 223,629 | 240,214 | | | |
| 300 | 900 | 169,4 | 304,491 | 336,469 | 1350 | 1350 | 0 |
| | 1350 | 215,2 | 299,867 | 324,744 | | | |
| | 1500 | 258,9 | 305,663 | 328,738 | | | |
| 380 | 1350 | 215,2 | 360,857 | 392,368 | 1350 | 1800 | 33 |
| | 1500 | 258,9 | 365,042 | 394,271 | | | |
| | 1800 | 270,9 | 361,621 | 387,782 | | | |
| 650 | 1800 | 270,9 | 553,432 | 598,181 | 1800 | 2250 | 25 |
| | 2250 | 329,6 | 557,209 | 597,289 | | | |

Таблица 4 – Оптимальные мощности БСК для провода АС-240 при мощностях нагрузки $P = 9200 \text{ кВт}$, $Q = 6100 \text{ квар}$

| Длина линии, м | Q_{ky} , квар | Стоимость БСК, тыс. руб. | З, тыс. руб. | | $Q_{ky,онт}$, квар | | ε_1 , % |
|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------|-------------------|---------------------|-------------------|---------------------|
| | | | без учета t_{np} | с учетом t_{np} | без учета t_{np} | с учетом t_{np} | |
| 400 | 1800 | 270,9 | 602,292 | 651,372 | 1800 | 2250 | 25 |
| | 2250 | 329,6 | 605,256 | 650,060 | | | |
| | 2700 | 391,4 | 610,848 | 651,735 | | | |
| 550 | 2700 | 391,4 | 789,466 | 845,684 | 2700 | 3150 | 16 |
| | 3150 | 449,8 | 791,067 | 843,104 | | | |
| | 4000 | 575,7 | 804,741 | 850,790 | | | |

Особенностями расчета приведенных затрат является то, что при нахождении затрат без учета температуры и с учетом температуры учитывалась стоимость потерь энергии, обусловленная передачей активной мощности. И в первом и во втором случаях активная мощность рассматривалась как переменная величина, так как ее значение меняется при изменении сопротивления и температуры.

Анализ приведенных в таблицах результатов позволяют сделать следующие выводы:

Оптимальная мощность с учетом нагрева либо равна оптимальной мощности БСК без учета нагрева, либо превышает её на одну или две номинальные величины. Среднее значе-

ние превышения ε_1 вычисленное по формуле (9) на основе данных таблицы 3 и 4 составляет 25%.

Благодаря тому, что целевая функция в области оптимальных значений имеет пологий характер, достаточное существенное увеличение оптимальных мощностей не приводит к аналогичному значительному экономическому эффекту.

Максимальное снижение приведенных затрат по таблице 3 и 4 составляет 5000 руб./год.

Представленные выше цифры экономической эффективности обусловлены только учетом нагрева. В целом экономический эффект от внедрения рассмотренного мероприятия может быть значительно больше за счет анализа всей сети (цифры в таблицах относятся к отдельным линиям) и улучшения температурного режима сети из-за уменьшения нагрузки.

Результаты реализации второго этапа по определению срока окупаемости вводимого мероприятия по снижению потерь энергии можно оценить по формуле

$$T_{ок} = \frac{K}{I_{усх} - I_{пм}} = \frac{K}{I_{а,усх} - I_{а,пм} + C_3 (\Delta W_{усх} - \Delta W_{пм})}, \quad (10)$$

где $I_{пм}$, $I_{усх}$ – годовые эксплуатационные издержки соответственно после ввода мероприятия и в исходном состоянии;

$I_{а,пм}$, $I_{а,усх}$ – составляющие издержек на амортизацию, обслуживание и ремонт оборудования соответственно после ввода мероприятия и в исходном состоянии;

$\Delta W_{пм}$, $\Delta W_{усх}$ – потери электрической энергии после ввода мероприятия и в исходном режиме.

Анализ уравнения (10) показывает, если погрешности расчета $\delta(\Delta W_{усх})$ и $\delta(\Delta W_{пм})$ неодинаковы, то выполняются неравенства:

$$\delta(\Delta W_{усх} - \Delta W_{пм}) \gg \delta \Delta W_{усх}; \quad (11)$$

$$\delta(\Delta W_{усх} - \Delta W_{пм}) \gg \delta \Delta W_{пм}. \quad (12)$$

Погрешность нахождения $T_{ок}$ для большинства случаев будет еще значительнее, так как разность $(I_{а,усх} - I_{а,пм})$ имеет, как правило, отрицательные значения.

Первые два условия проявляются при неучете температуры элементов сети, которая сама меняется в результате ввода мероприятия

Уменьшение потерь электрической энергии $\Delta W = (\Delta W_{усх} - \Delta W_{пм})$ без учета и с учетом нагрева определяется соответственно выражениями:

$$\Delta W = T \left[\frac{P^2 + Q^2}{U^2} R - \frac{P^2 + (Q - Q_{кy})^2}{U^2} R - \rho_{yд} Q_{кy} \right] = T \left[\frac{2Q Q_{кy} - Q_{кy}^2}{U^2} R - \rho_{yд} Q_{кy} \right]; \quad (13)$$

$$\Delta W = T \left[\frac{P^2 + Q^2}{U^2} R_{усх} - \frac{P^2 + (Q - Q_{кy})^2}{U^2} R_{пм} - \rho_{yд} Q_{кy} \right], \quad (14)$$

где $R_{пм}$ и $R_{усх} > R_{пм}$ – активные сопротивления линии после и до ввода БСК, которые имеют разные значения из-за учета температурной зависимости.

Из уравнения (14) следует, что при учете температуры потери электрической энергии уменьшаются по следующим причинам:

- за счет уменьшения передаваемой реактивной мощности;
- в результате уменьшения активного сопротивления;
- благодаря сокращению потерь на передачу активной мощности.

Уравнение (13), записанное при допущении независимости сопротивления от температуры не позволяет учесть указанные факторы.

Отдавая должное позитивности применения БСК с точки зрения уменьшения потерь, необходимо оценивать сроки окупаемости для оптимальных мощностей БСК, приведенных в таблице 3 и 4.

Результаты исследований в указанном направлении с учетом и без учета нагрева для двух исполнений БСК (без северного контейнера и в северном контейнере) представлены в таблице 5 и 6.

Погрешности нахождения сроков окупаемости, обусловленные неучетом нагрева без

северного ε_2 и в северном контейнере ε_{2C} вычисляются по уравнениям:

$$\varepsilon_2 = \frac{T_{окт} - T_{ок}}{T_{окт}}; \varepsilon_{2C} = \frac{T_{октC} - T_{окC}}{T_{октC}}, \quad (15)$$

где $T_{окт}, T_{ок}$ – сроки окупаемости БСК без северного контейнера с учетом и без учета температуры;

$T_{октC}, T_{окC}$ – сроки окупаемости БСК в северном контейнере с учетом и без учета температуры.

Таблица 5 – Стоимости и сроки окупаемости установки БСК для провода АС-50 при мощностях нагрузки $P = 3300$ кВт, $Q = 2500$ квар

| Длина линии, м | Расчет без учета $t_{пр}$ | | | | | Расчет с учетом $t_{пр}$ | | | | | ε_2 , % | ε_{2C} , % |
|----------------|---------------------------|--------------------------|-------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------|----------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| | $Q_{ку опт}$, квар | стоимость БСК, тыс. руб. | | $T_{ок}$, лет | $T_{окC}$, лет | $Q_{ку опт}$, квар | стоимость БСК, тыс. руб. | | $T_{ок}$, лет | $T_{окC}$, лет | | |
| | | без СК* | в СК* | | | | без СК* | в СК* | | | | |
| 200 | 900 | 169,4 | 336,2 | 9,8 | 45,7 | 1350 | 215,2 | 411,9 | 5,0 | 12,4 | 96 | 267 |
| 300 | 1350 | 215,2 | 411,9 | 4,2 | 10,4 | 1350 | 215,2 | 411,9 | 2,6 | 5,9 | 57 | 74 |
| 380 | 1350 | 215,2 | 411,9 | 2,8 | 6,4 | 1800 | 270,9 | 495,4 | 2,1 | 4,2 | 35 | 51 |
| 650 | 1800 | 270,8 | 495,4 | 1,5 | 2,9 | 2250 | 329,6 | 580,0 | 1,2 | 2,3 | 22 | 30 |

Таблица 6 – Стоимости и сроки окупаемости установки БСК для провода АС-240 при мощностях нагрузки $P = 9200$ кВт, $Q = 6100$ квар

| Длина линии, м | Расчет без учета $t_{пр}$ | | | | | Расчет с учетом $t_{пр}$ | | | | | ε_2 , % | ε_{2C} , % |
|----------------|---------------------------|--------------------------|-------|----------------|-----------------|--------------------------|--------------------------|-------|----------------|-----------------|---------------------|------------------------|
| | $Q_{ку опт}$, квар | стоимость БСК, тыс. руб. | | $T_{ок}$, лет | $T_{окC}$, лет | $Q_{ку опт}$, квар | стоимость БСК, тыс. руб. | | $T_{ок}$, лет | $T_{окC}$, лет | | |
| | | без СК* | в СК* | | | | без СК* | в СК* | | | | |
| 400 | 1800 | 270,9 | 495,4 | 6,9 | 19,2 | 2250 | 329,6 | 580,0 | 2,4 | 4,8 | 184 | 304 |
| 550 | 2700 | 391,5 | 663,7 | 4,1 | 8,4 | 3150 | 449,8 | 754,0 | 1,9 | 3,4 | 115 | 143 |

*-северный контейнер

Приведенные в таблице 5 и 6 результаты расчетов по формулам (15) показывают, что минимальная погрешность срока окупаемости равна 22%, максимальная – 304%, средняя – 110%. Факт соизмеримости средней погрешности с определяемой величиной свидетельствует о необходимости учета фактора нагрева при расчете сроков окупаемости установки БСК. Особую значимость приобретает учет нагрева при больших нагрузках элементов сети. Определение тенденций изменения погрешностей от типа провода и длины линии требует проведения дополнительных исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Исследование преимуществ усовершенствованного метода расчета потерь в воздушных линиях электропередачи при вариации токов нагрузки и погодных условий / Е.В. Петрова, Н.В. Кириченко, Е.В. Птицына, А.В. Юша // Омск. науч. вестн. - 2012. -№2(110). -С. 223-228.
- 2 Упрощение уравнений теплового баланса воздушных линий электропередачи в задачах расчета потерь энергии / С.С. Гиршин [и др.] // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 148-151.
- 3 Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии / В.Н. Горюнов [и др.] // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 168-173.
- 4 Схематические решения активной фильтрации кривой тока в четырехпроводной трехфазной сети для обеспечения качества электрической энергии / В.Н. Горюнов [и др.] // Омск. науч. вестн. -2011. -№3(103). -С. 214-217.
- 5 Расчет потерь мощности от влияния высших гармоник / В.Н. Горюнов [и др.] // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 268-273.
- 6 Горюнов, В.Н. Определение управляющего воздействия активного фильтра гармоник / В.Н. Горюнов, Д.С. Осипов, А.Г. Лютаревич // Электро. Электротехника, электроэнергетика, электротехн. пром-сть. -2009. -№6. -С. 20-24.
- 7 Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, В.Н. Горюнов, А.А. Левченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 171-175.
- 8 Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах / В.Н. Горюнов, А.А. Бубенчиков, С.С. Гиршин, Е.В. Петрова, А.А. Левченко // Омск. науч. вестн. -2009. -№1(77). -С. 106-108.
- 9 Гиршин, С.С. Расчет и анализ потерь активной мощности в элементах сети на основе аналитических выражений с учетом температурной зависимости сопротивлений / С.С. Гиршин, Е.В. Петрова, В.И. Суриков // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 152-156.
- 10 Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, Е.В. Петрова, В.Н. Горюнов // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 176-179.
- 11 Вырва, А.А. Уточнение формул для анализа температуры проводов ВЛ в задачах расчета потерь электрической энергии / А.А. Вырва, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 120-126.
- 12 Коррекция технологических потерь электрической энергии ВЛ 35 кВ электрических сетей ООО «Роснефть-Юганскнефтегаз» на основе учета климатических и режимных условий / В.А. Бурчевский [и др.] // Омск. науч. вестн. -2010. -

№1(87). -С. 127-132.

13 Петрова, Е.В. Разработка алгоритма расчета потерь в изолированных и неизолированных проводах воздушных линий с учетом режимных и климатических факторов / Е.В. Петрова, А.А. Бубенчиков, Н.В. Кириченко // Омск. науч. вестн. -2011. - №3(103). -С. 221-225.

14 Кириченко, Н.В. Анализ результатов моделирования температуры неизолированных проводов воздушных линий электроэнергетических систем с учетом влияния солнечной радиации / Н.В. Кириченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2013. - №1(117). -С. 164-168.

15 Матик электро [Электронный ресурс]. – Режим доступа: www.matic.ru. -30.10.2012.

16 Макаров, Е.Ф. Справочник по электрическим сетям 0,4-35 кВ и 110-1150 кВ. В 5 т. Т.2 / Е.Ф. Макаров. -М.: Папирус Про, 2003. -640 с.

17 Электротехнический справочник. В 4 т. Т.1 /под общ. ред. В.Г. Герасимова [и др.]. -М.: Изд-во МЭИ, 1995. -440 с.

18 Справочник по проектированию электрических сетей / под ред. Д.Л. Файбисовича. -М.: ЭНАС, 2009. -392 с.

19 Идельчик, В.И. Электрические системы и сети: учеб. для вузов / В.И. Идельчик. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -592 с.

20 Герасименко, А.А. Передача и распределение электрической энергии: учеб. для вузов / А.А. Герасименко, В.Т. Федин. -Ростов-н/Д.: Феникс; Красноярск: Изд. проекты, 2006. -720 с.

21 Термодинамика и теплопередача / А.В. Болгарский [и др.]. -М.: Высш. шк., 1975. -495 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения № 14.В37.21.0332 от 27 июля 2012 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *потери, неизолированный провод, батареи статических конденсаторов, мероприятия по снижению потерь, температура*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Петрова Елена Владимировна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Гиршин Станислав Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Горюнов Владимир Николаевич, докт. техн. наук, декан ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Христин Дмитрий Евгеньевич, инженер ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ OM1

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Е.В. Петрова, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин, Н.В. Кириченко, Е.А. Кузнецов

STUDY OF RELIABILITY OF ESTIMATES OF TEMPERATURE CONDUCTORS OF OVERHEAD POWER LINES A SET OF PROGRAMS OM1

Omsk state technical university

E.V. Petrova, V.N. Goryunov, S.S. Girshin, N.V. Kirichenko, E.A. Kuznetsov

The paper presents a comparative analysis of modern methods of modeling the temperature of conductors under different load currents and climatic conditions. The studies were conducted to validate the results of simulation of heating wires overhead set of programs OM1.

Keywords: temperature, loss, conductor, error

Выполнен сравнительный анализ современных методов моделирования температуры токопроводящих жил при различных токах нагрузки и климатических условиях. Исследования проведены для подтверждения достоверности результатов моделирования нагрева проводов воздушных линий комплексом программ OM1.

В соответствии с инструкцией [1] при определении технологических потерь электрической энергии в электрических сетях необходимо учитывать температуру провода, влияющую на величину активного сопротивления. Не менее важно знать реальную температуру токоведущих жил также для определения максимальной пропускной способности линий электропередач и сроков окупаемости мероприятий по энергосбережению. Температура провода, в свою очередь, зависит от режимных и климатических факторов: плотности тока, температуры окружающего воздуха t_g , силы и направления ветра, интенсивности солнечной радиации и др. [1-13]. Особый интерес представляет расчет температурного режима малоизученных самонесущих изолированных проводов [8]. Для учета отмеченных выше факторов в России и ряде зарубежных стран были разработаны методики, позволяющие производить расчеты температуры провода с приемлемой погрешностью. Наибольшее применение на территории России получили подходы определения потерь электрической энергии с учетом температуры токопроводящих жил, которые, в зависимости от используемых базовых выражений математических моделей, можно условно разбить на четыре группы: метод №1 [6] или метод №1(У) [2, 3, 9], метод №2 [13, 14], метод №3 [15], метод № 4 [16-18].

В целях повышения точности моделирования температуры токоведущих жил особый интерес представляет проведение сравнительного анализа результатов расчета по различ-

ным современным методам. На кафедре «Электроснабжение промышленных предприятий» Омского государственного технического университета был разработан программный комплекс Ом1, выполняющий ряд задач (расчет температуры проводов, потерь активной мощности и электроэнергии, определение коэффициентов теплоотдачи и др.) в число которых входят как сопоставление окончательных результатов моделирования различными методами, так и анализ применяемых уравнений.

К достоинствам программного комплекса можно также отнести то, что он не требует установки и запускается на персональных компьютерах, имеющих как минимум операционную систему Windows 98, процессор типа Pentium или Celeron с тактовой частотой 166 МГц, 128 Мбайт оперативной памяти, 10 Мбайт свободного дискового пространства. Для экспорта таблиц требуется установленное приложение Microsoft Office Excel 97 (или более поздняя версия).

В разработанном программном комплексе реализованы все четыре вышеуказанные группы. Однако в программе решено было использовать метод №1(У), представляющий собой модифицированную версию метода №1 и отличающийся от исходного варианта использованием уравнений с предложенными изменениями, которые позволили более корректно моделировать температуру провода при различных токах нагрузки [2].

Так в методе №1(У) для установившегося теплового режима количество теплоты, получаемой проводом на единицу длины и в единицу времени, равно количеству тепла, отведенного с поверхности провода в окружающую среду, и описывается уравнением теплового баланса следующего вида [19]

$$\Delta P_t + P_M + P_s = P_K + P_R + P_W, \quad (1)$$

где ΔP_t – количество теплоты, которое выделяется в проводнике при прохождении по нему электрического тока, в соответствии с законом Джоуля-Ленца, Вт/м;

P_M – количество тепла, обусловленное вихревыми токами и гистерезисом в материалах провода, Вт/м;

P_s – количество теплоты, получаемого за счет нагрева солнцем;

P_K, P_R, P_W – количество отдаваемой теплоты за счет конвекции, излучения и испарения, Вт/м.

В практических расчетах значениями P_M и P_W обычно пренебрегают. В результате тепловой поток, отдаваемый в окружающую среду с поверхности провода, может быть представлен в виде

$$P_s + \Delta P_t = P_K + P_R = (\alpha_k + \alpha_u) F_{\text{пов}} \Delta t_{\text{нар}}, \quad (2)$$

где α_k – коэффициент теплоотдачи конвекцией, Вт/(м²·°С);

α_u – коэффициент теплоотдачи излучением, Вт/(м²·°С);

$F_{\text{пов}}$ – площадь внешней поверхности провода, м²;

$\Delta t_{\text{нар}}$ – превышение температуры наружной поверхности провода над температурой воздуха t_e

$$\Delta t_{\text{нар}} = t_{\text{нар}} - t_e. \quad (3)$$

Значение ΔP_t может быть представлено выражением [6]

$$\Delta P_t = 0,95 R_{20} [1 + \alpha(t_{\text{пр}} - 20)] I^2, \quad (4)$$

где R_{20} – удельное активное сопротивление постоянному току;

α – температурный коэффициент электрического сопротивления сталеалюминевых проводов, $\alpha = 0,00403 \text{ } 1/^\circ\text{C}$;

$t_{\text{пр}}$ – температура провода, °С;

I – рабочий ток, А.

При равенстве нулю температуры нагрева солнечной радиацией потери мощности P_K и коэффициент теплоотдачи конвекцией α_k определяются по формулам [6, 9]:

$$P_K = \alpha_k (t_{\text{пр}} - t_e) F_{\text{пов}} = \alpha_k \Delta t_{\text{нар}} \pi d; \quad (5)$$

$$\alpha_k = 0,13057 \left(\frac{k_v v d}{a} \right)^{0,71719} \frac{\lambda_e}{d} = 7,80836 \frac{(k_v v)^{0,71719}}{d^{0,28281}}, \quad (6)$$

где k_v – коэффициент, учитывающий влияние угла направления ветра к оси воздушной линии;
 v – скорость ветра, м/с;
 d – диаметр провода, м;
 a – коэффициент температуропроводности воздуха, $a = 18,8 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2/\text{с}$;
 λ_g – теплопроводность воздуха, $\lambda_g = 0,0244 \text{ Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$.

Одним из наиболее точных путей определения потерь мощности при теплоотдаче излучением является применение закона Стефана Больцмана [14]

$$P_R = \varepsilon C_0 \left[(273 + t_{np})^4 - (273 + t_g)^4 \right] \pi d, \quad (7)$$

где ε – степень черноты поверхности провода;
 C_0 – коэффициент излучения абсолютно черного тела, $C_0 = 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ Вт}/\text{м}$.

Как следует из формулы (7) коэффициент теплоотдачи излучением (лучеиспусканием) находится согласно выражению

$$\alpha_n = \frac{\varepsilon C_0}{\Delta t_{np}} \left[(273 + t_{np})^4 - (273 + t_g)^4 \right], \quad (8)$$

Объединяя формулы (2)-(8) можно получить

$$I = \sqrt{\frac{\varepsilon C_0 \left[(273 + t_{np})^4 - (273 + t_g)^4 \right] \pi d + \alpha_n (t_{np} - t_g) \pi d + P_s}{0,95 R_{20} \left[1 + 0,00403 (t_{np} - 20) \right]}}. \quad (9)$$

Значение P_s возможно определить различными методами [5, 14, 15]. Для цели настоящей статьи целесообразно использовать формулу [20]

$$P_s = \varepsilon S_s d, \quad (10)$$

где S_s – интенсивность солнечной радиации, $\text{Вт}/\text{м}^2$.

В данной работе проведем сравнение результатов расчета температуры провода, приведенные в [21], с результатами моделирования в программном комплексе Ом1.

Численное моделирование с расчетные параметры таблицы 1 было проведено для провода марки 429-AL1/56-ST1 A, результаты расчета представлены в таблице 2-6.

Условия численного эксперимента:

- провод..... 429-AL1/56-ST1 A;
- диаметр, d $28,6 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;
- удельное активное сопротивление постоянному току, R_{20} $0,0674 \text{ Ом}/\text{м}$;
- токовая нагрузка $600-970 \text{ А}$;
- температурный коэффициент электрического сопротивления, α $0,00403 \text{ 1}/^\circ\text{C}$;
- степень черноты поверхности провода, ε $0,5$;
- поправочный коэффициент на угол атаки ветра, k_v $0,1$;
- температура воздуха, t_g $40 \text{ }^\circ\text{C}$.

Таблица 1 – Условия расчетов

| Варианты расчетов | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|------|------|------|------|-----|
| Ток, А | 600 | 970 | 600 | 650 | 600 |
| Скорость ветра, $\text{м}/\text{с}^2$ | 2 | 2 | 0,2 | 0,4 | 2 |
| Солнечная радиация, $\text{Вт}/\text{м}^2$ | 980 | 980 | 980 | 980 | 980 |
| Высота над уровнем моря, м | 1600 | 1600 | 1600 | 1600 | 300 |

Обозначение используемых методов расшифровывается следующим образом:

CIGRE – метод, основанный на стандарте расчета линий электропередач, разработанный Международным Советом по большим электроэнергетическим системам;

IEEE – метод, основанный на стандарте расчета линий электропередач, разработанный Институтом инженеров электротехники и электроники;

МКЭ – метод расчета температуры проводника, основанный на современном численном методе – методе конечных элементов.

Расчетные параметры таблицы 1 и значения температуры в таблицах 2-6, соответствующие методам CIGRE, IEEE, МКЭ взяты из работы [21]. Значения температуры по методам №1(Y) и №4 определялись с применением программного комплекса Ом1. Вычисление

для скорости ветра 0,2 м/с по методу №4 проводились при предположении наличия естественной конвекции (таблица 4). Расчеты для всех других скоростей (таблица 2, 3, 5, 6) осуществлялись по формулам, основанным на вынужденной конвекции.

Таблица 2 – Вариант расчета №1

| Метод | Без учета солнечной радиации | | | | С учетом солнечной радиации | | | |
|-------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ |
| CIGRE | – | – | – | – | 56,1 | 0 | 2,75 | 2,0 |
| IEEE | – | – | – | – | 54,6 | 2,67 | 0 | 0,727 |
| МКЭ | – | – | – | – | 55 | 1,96 | 0,733 | 0 |
| №1(У) | 47,4 | 15,5 | 13,2 | 13,8 | 51,5 | 8,2 | 5,68 | 6,36 |
| №4 | 50,2 | 10,5 | 8,06 | 8,73 | 55,7 | 0,713 | 2,02 | 1,27 |

Таблица 3 – Вариант расчета №2

| Метод | Без учета солнечной радиации | | | | С учетом солнечной радиации | | | |
|-------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ |
| CIGRE | – | – | – | – | 75 | 0 | 3,73 | 2,74 |
| IEEE | – | – | – | – | 72,3 | 3,6 | 0 | 0,959 |
| МКЭ | – | – | – | – | 73,0 | 2,67 | 0,968 | 0 |
| №1(У) | 60,0 | 20,0 | 17,0 | 17,8 | 64,3 | 14,3 | 11,1 | 11,9 |
| №4 | 68,0 | 9,33 | 5,95 | 6,85 | 73,6 | 1,87 | 1,8 | 0,822 |

Таблица 4 – Вариант расчета №3

| Метод | Без учета солнечной радиации | | | | С учетом солнечной радиации | | | |
|-------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ |
| CIGRE | – | – | – | – | 78,8 | 0 | 0,767 | 1,5 |
| IEEE | – | – | – | – | 78,2 | 0,761 | 0 | 2,25 |
| МКЭ | – | – | – | – | 80,0 | 1,52 | 2,3 | 0 |
| №1(У) | 68,6 | 12,9 | 12,3 | 14,3 | 83,5 | 5,96 | 6,78 | 4,38 |
| №4 | 68,8 | 12,7 | 12,0 | 14,0 | 80,8 | 2,54 | 3,33 | 1 |

Таблица 5 – Вариант расчета №4

| Метод | Без учета солнечной радиации | | | | С учетом солнечной радиации | | | |
|-------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ |
| CIGRE | – | – | – | – | 74,0 | 0 | 0,543 | 2,63 |
| IEEE | – | – | – | – | 73,6 | 0,541 | 0 | 3,16 |
| МКЭ | – | – | – | – | 76,0 | 2,7 | 3,26 | 0 |
| №1(У) | 63,7 | 13,9 | 13,5 | 16,2 | 74,5 | 0,676 | 1,22 | 1,97 |
| №4 | 67,0 | 9,46 | 8,97 | 11,8 | 78,8 | 6,49 | 7,07 | 3,68 |

Таблица 6 – Вариант расчета №5

| Метод | Без учета солнечной радиации | | | | С учетом солнечной радиации | | | |
|-------|------------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|
| | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ | $t_{пр}, °C$ | $\Delta t_{CIGRE}, \%$ | $\Delta t_{IEEE}, \%$ | $\Delta t_{МКЭ}, \%$ |
| CIGRE | – | – | – | – | 55,7 | 0 | 4,5 | 3,15 |
| IEEE | – | – | – | – | 53,3 | 4,31 | 0 | 1,3 |
| МКЭ | – | – | – | – | 54 | 3,05 | 1,31 | 0 |
| №1(У) | 47,4 | 14,9 | 11,1 | 12,2 | 51,5 | 7,54 | 3,38 | 4,63 |
| №4 | 49,4 | 11,3 | 7,32 | 8,52 | 54,4 | 2,33 | 2,06 | 0,741 |

Наряду с величинами температуры провода в таблицах представлены значения отклонений температур, определяемые по формулам:

$$\Delta t_{CIGRE} = \frac{t_{пр,i} - t_{пр,CIGRE}}{t_{пр,CIGRE}} 100\%; \quad \Delta t_{IEEE} = \frac{t_{пр,i} - t_{пр,IEEE}}{t_{пр,IEEE}} 100\%; \quad \Delta t_{МКЭ} = \frac{t_{пр,i} - t_{пр,МКЭ}}{t_{пр,МКЭ}} 100\%,$$

где $t_{пр,CIGRE}$ – значение температуры провода, найденное по методу CIGRE;

$t_{пр,IEEE}$ – значение температуры провода, найденное по методу IEEE;

$t_{пр,МКЭ}$ – значение температуры провода, найденное по методу МКЭ;

$t_{пр,i}$ – значение температуры провода, определяемое соответствующим методом.

Анализируя данные таблиц 2-6 можно отметить:

1 Результаты расчетов по всем методам с учетом солнечной радиации близки друг к другу и отличаются в среднем на 3%, что свидетельствует о возможности практического применения всех методов.

2 Результаты расчетов по методам №1(У) и №4 без учета солнечной радиации отличаются от результатов CIGRE, IEEE и МКЭ (с учетом солнечной радиации) в среднем на 12%.

3 Разница в результатах расчета с учетом и без учета солнечной радиации по методам №1(У) и №4 для скорости ветра 2 м/с (таблица 2, 3 и 6) составляет порядка 4-5 °С. Данные значения полностью согласуются с выводами, представленными в [14]. При более низких скоростях ветра 0,2-0,4 м/с, (таблица 4 и 5) разница увеличивается и достигает 11,8 °С (таблица 5), 14,9 °С (таблица 4). Интерес имеет и объяснение значительных отклонений температуры, найденных по методу №1(У) (таблица 3) от всех других методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Инструкция по организации в Министерстве энергетики РФ работы по расчету и обоснованию нормативов технологических потерь электроэнергии при её передаче по электрическим сетям: утв. приказом Минэнерго Рос. Федерации от 30 дек. 2008 г. №326 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://kuzenergo.com/normativy_poter_elektroenergii. -20.01.2013.

2 Исследование преимуществ усовершенствованного метода расчета потерь в воздушных линиях электропередачи при вариации токов нагрузки и погодных условий / Е.В. Петрова, Н.В. Кириченко, Е.В. Птицына, А.В. Юша // Омск. науч. вестн. -2012. -№2(110). -С. 223-228.

3 Кириченко, Н.В. Анализ результатов моделирования температуры неизолированных проводов воздушных линий электроэнергетических систем с учетом влияния солнечной радиации / Н.В. Кириченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 164-168.

4 Анализ распределения температуры по сечению самонесущих изолированных проводов / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, В.Н. Горюнов, А.А. Левченко, Е.В. Петрова // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 171-175.

5 Упрощение уравнений теплового баланса воздушных линий электропередачи в задачах расчета потерь энергии / С.С. Гиршин [и др.] // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 148-151.

6 Воротницкий, В.Э. Оценка погрешностей расчета потерь электроэнергии в ВЛ из-за неучёта метеоусловий / В.Э. Воротницкий, О.В. Туркина // Электрич. станции. -2008. -№10. -С. 42-49.

7 Математическая модель расчета потерь мощности в изолированных проводах с учетом температуры / С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, Е.В. Петрова, В.Н. Горюнов // Омск. науч. вестн. -2009. -№3(83). -С. 176-179.

8 Эффективность применения самонесущих изолированных проводов в современных электроэнергетических системах / В.Н. Горюнов, А.А. Бубенчиков, С.С. Гиршин, Е.В. Петрова, А.А. Левченко // Омск. науч. вестн. -2009. -№1(77). -С. 106-108.

9 Совершенствование расчетов потерь в воздушных линиях электроэнергетических систем по результатам численного моделирования в условиях вариации нагрузки / Е.В. Петрова, А.Я. Бигун, Е.В. Птицына, А.Г. Янишевская // Омск. науч. вестн. -2012. -№1(107). -С. 242-247.

10 Повышение точности расчета технологических потерь электрической энергии в ВЛ на основе учета режимных и климатических факторов / А.В. Дед, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин, А.А. Бубенчиков, А.С. Петров, Е.В. Петрова, В.В. Тевс // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 114-119.

11 Вырва, А.А. Уточнение формул для анализа температуры проводов ВЛ в задачах расчета потерь электрической энергии / А.А. Вырва, В.Н. Горюнов, С.С. Гиршин // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 120-126.

12 Коррекция технологических потерь электрической энергии ВЛ 35 кВ электрических сетей ООО «Роснефть-Юганскнефтегаз» на основе учета климатических и режимных условий / В.А. Бурчевский [и др.] // Омск. науч. вестн. -2010. -№1(87). -С. 127-132.

13 Герасименко, А.А. Учет схемно-режимных и атмосферных факторов при расчете технологических потерь электроэнергии в распределительных сетях / А.А. Герасименко, И.В. Шутьгин, Г.С. Тимофеев // Журн. Сиб. федер. ун-та. Сер. Техника и технологии. -2008. -№6. -С. 19-21.

14 Левченко, И.И. Нагрузочная способность воздушных линий электропередачи в экстремальных погодных условиях / И.И. Левченко, Е.И. Сацук // Электричество. -2008. -№4. -С. 2-8.

15 Зарудский, Г.К. Уточнение выражений для расчета температуры проводов воздушных линий электропередачи сверхвысокого напряжения / Г.К. Зарудский, С.Ю. Сыромятников // Вестн. МЭИ. Электроэнергетика. -2008. -№2. -С. 37-42.

16 Петрова, Е.В. Математические модели для анализа потерь мощности в проводах воздушных линий с учетом температуры токопроводящих жил / Е.В. Петрова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№2. -С. 306-309.

17 Петрова, Е.В. Разработка алгоритма расчета потерь в изолированных и неизолированных проводах воздушных линий с учетом режимных и климатических факторов / Е.В. Петрова, А.А. Бубенчиков, Н.В. Кириченко // Омск. науч. вестн. -2011. -№3(103). -С. 221-225.

18 Разработка комплекса программ сравнения методов расчета потерь электрической энергии в воздушных линиях электроэнергетических систем с учетом режимных и климатических факторов / Е.В. Петрова [и др.] // Энергетика и энергосбережение: межвуз. темат. сб. науч. тр. / ОмГТУ. -Омск, 2011. -С. 201-211.

19 Morgan, V.T. The thermal rating of overhead-line conductors. Pt. II. A sensitivity analysis of the parameters in the steady-state thermal model / V.T. Morgan // Electr. Power Syst. Res. -1983. -№6. -P. 287-300.

20 Staszewski, L. The Differences between IEEE and CIGRE Heat Balance Concepts for Line Ampacity Considerations / L. Staszewski, W. Rebizant // Modern Electric Power Systems 2010, Wroclaw, Poland. -P. 26-30.

21 Numerical study of the thermal behaviour of bare overhead conductors in electrical power lines / F. Alvarez Gomez, J.M. Garcia De Maria, D. Garcia Puertas, A. Bairo, R. Granizo Arrabe // World Scientific and Engineering Academy and Society, USA. -2011.-P. 143-153.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения № 14.В37.21.0332 от 27 июля 2012 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: температура, потери, токопроводящая жила, погрешность
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Петрова Елена Владимировна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Горюнов Владимир Николаевич, докт. техн. наук, декан ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
 Гиришин Станислав Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
 Кириченко Николай Васильевич, инженер ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
 Кузнецов Евгений Александрович, студент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗОК, ИСКАЖАЮЩИХ СИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»
 ОАО «Территориальная генерирующая компания №11», Омский филиал
 ООО «ЮНГ-Энергонепфть»

А.А. Планков, Д.С. Осипов, А.Е. Бугреева, Н.Н. Долгих, А.А. Вырва

RESEARCH OF STATIC STABILITY WHEN CONNECTING LOADS THAT DISTORT THE SINUSOIDAL VOLTAGE
 Territorial generating company No.11, Omsk branch
 YUNG-Energoneft
 Omsk state technical university
 A.A. Plankov, D.S. Osipov, A.E. Bugreeva, N.N. Dolgikh, A.A. Vyryva

The article is devoted to nonsinusoidal of electric power systems and emergence of power distortion.
 Also article is devoted to influence of the higher harmonics to criteria of static stability of the assembly of electric power systems with asynchronous load.

Keywords: criteria of stability, static stability, asynchronous load, higher harmonics

Рассмотрена проблема несинусоидальности в электроэнергетических системах и возникновение мощности искажения. Исследовано влияние высших гармоник на критерии оценки статической устойчивости узлов электроэнергетических систем с асинхронной нагрузкой.

При питании статора асинхронного двигателя несинусоидальным напряжением, которое в расчетах [1-3] зачастую представлено рядом Фурье, возникают дополнительные электромагнитные вращающие моменты. В зависимости от частот этих моментов в литературе принято разделять на ускоряющие и тормозящие моменты. Ускоряющие моменты создаются гармониками, номер которых определяется по формуле [1]:

$$\nu = 6n + 1, \tag{1}$$

где $n = 1, 2, 3...$

Тормозные моменты создаются рядом гармоник, определяемых по формуле [2]

$$\nu = 6n - 1, \tag{2}$$

где $n = 1, 2, 3...$

Однако следует учитывать, что для анализа статической устойчивости исследуется рабочая часть механической характеристики в диапазоне от $s_{ном}$ до $s_{кр}$, а коэффициент запаса по статической устойчивости для критерия $\frac{dP}{ds} > 0$ определяется отношением максимального (критического) электромагнитного момента двигателя к моменту механизма сопротивления при критическом скольжении.

Критические скольжения ускоряющих и тормозящих моментов находятся в интервале от 0,86 до 1,2 о.е. Механические характеристики, создаваемые высшими гармониками, представляют собой генераторную часть механической характеристики, то есть создают отрицательный (тормозящий) момент, что в конечном итоге вызовет снижение максимального (критического) момента результирующей характеристики.

Оценим эффект присутствия высших гармоник в напряжении, питающем статор.

Проведем ряд численных экспериментов, где для различного уровня коэффициента несинусоидальности, образованного различным спектральным составом высших гармоник на-

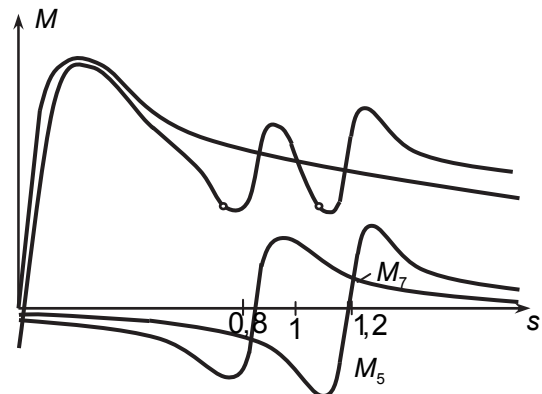


Рисунок 1 – Искажение высшими гармониками кривой момента

пряжения, построим механические характеристики на основной и высших частоты и определим степень уменьшения критического момента под влиянием несинусоидальности. В качестве пороговых значений коэффициента несинусоидальности примем три величины: гостуемые нормально допустимое (8%) и предельно допустимое (12%) для сети 0,4 кВ, а также 20%, как случай, превышающий гостуемые значения [5].

Характеристики построим для двигателей серии 4А с частотой вращения 3000 об/мин. Результаты расчетов приведены в таблице 1 и на рисунках 2-4.

Таблица 1 – Определение максимальных моментов двигателей при наличии несинусоидальности

| № | Марка двигателя | Мощность, кВт | Коэффициент несинусоидальности, K_u , % | | | | | | |
|----|-----------------|---------------|---|--------------|----------------|--------------|----------------|--------------|----------------|
| | | | 0 | 8 | | 12 | | 20 | |
| | | | m , о.е. | m_1 , о.е. | σ_1 , % | m_1 , о.е. | σ_1 , % | m_1 , о.е. | σ_1 , % |
| 1 | 4A200L2Y3 | 45 | 2,2 | 2,1860 | 0,64 | 2,1685 | 1,43 | 2,1127 | 3,97 |
| 2 | 4A225M2Y3 | 55 | 2,2 | 2,1864 | 0,62 | 2,1695 | 1,39 | 2,1156 | 3,84 |
| 3 | 4A250S2Y3 | 75 | 2,2 | 2,1863 | 0,62 | 2,1693 | 1,40 | 2,1149 | 3,87 |
| 4 | 4A250M2Y3 | 90 | 2,2 | 2,1863 | 0,62 | 2,1693 | 1,40 | 2,1149 | 3,87 |
| 5 | 4A280S2Y3 | 110 | 2,2 | 2,1865 | 0,61 | 2,1696 | 1,38 | 2,1159 | 3,82 |
| 6 | 4A280M2Y3 | 132 | 2,2 | 2,1861 | 0,63 | 2,1687 | 1,42 | 2,1131 | 3,95 |
| 7 | 4A315S2Y3 | 160 | 2,2 | 2,1867 | 0,60 | 2,1701 | 1,36 | 2,1172 | 3,76 |
| 8 | 4A315M2Y3 | 200 | 2,2 | 2,1867 | 0,60 | 2,1701 | 1,36 | 2,1173 | 3,76 |
| 9 | 4A355S2Y3 | 250 | 2,2 | 2,1867 | 0,60 | 2,1701 | 1,36 | 2,1172 | 3,76 |
| 10 | 4A355M2Y3 | 315 | 2,2 | 2,1861 | 0,63 | 2,1688 | 1,42 | 2,1136 | 3,93 |

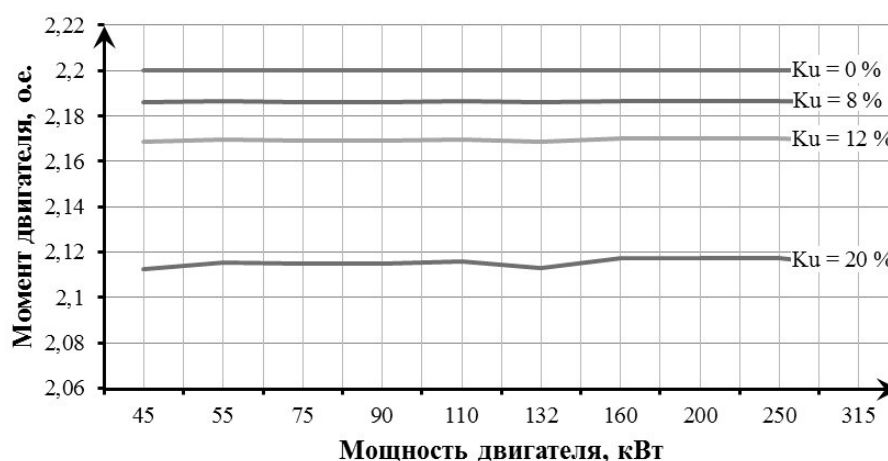


Рисунок 2 – Снижение момента двигателя при наличии несинусоидальности

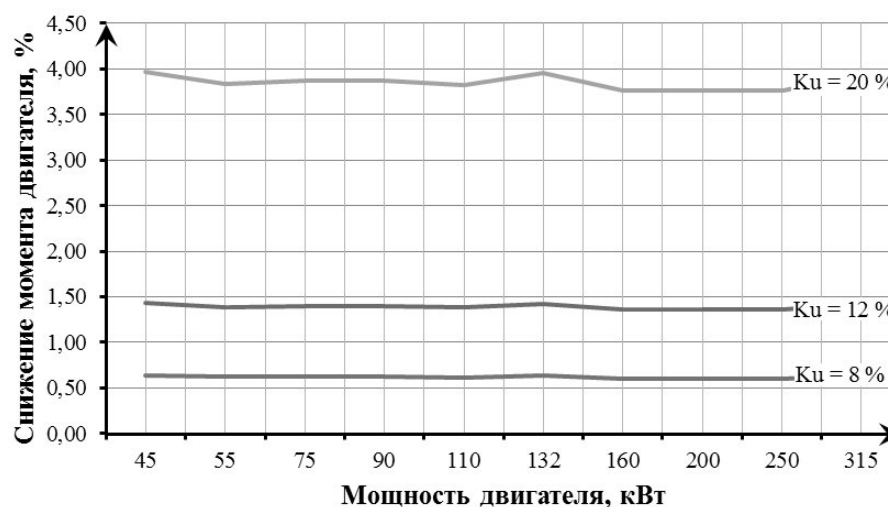


Рисунок 3 – Снижение момента двигателя при наличии несинусоидальности

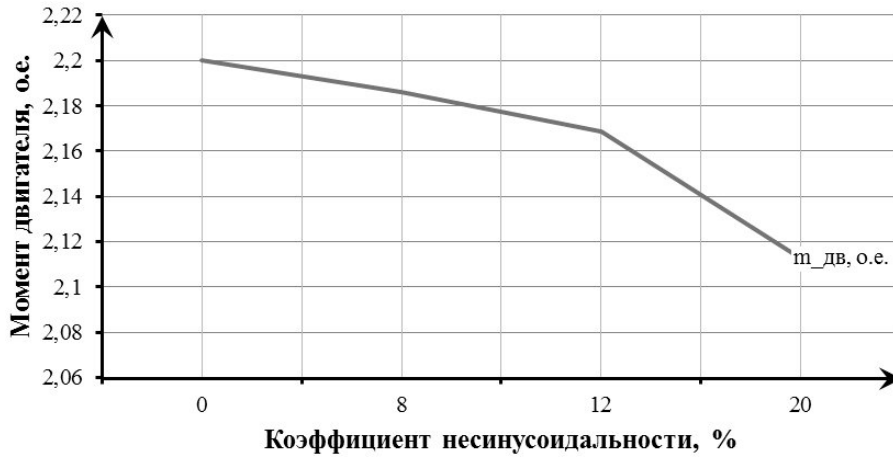


Рисунок 4 – Снижение момента двигателя 4A200L2УЗ при наличии несинусоидальности

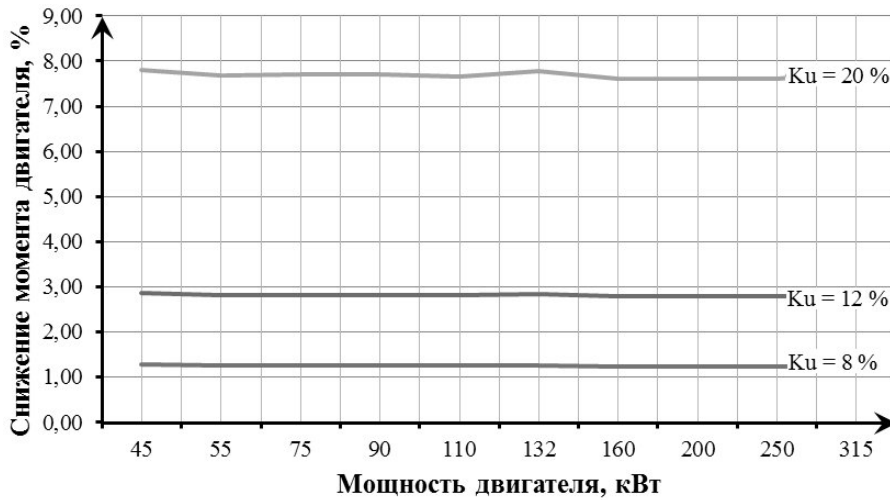


Рисунок 5 – Снижение момента двигателя при наличии несинусоидальности

Таким образом, результаты расчетов показали, что снижение максимального (критического) электромагнитного вращающего момента асинхронного двигателя при коэффициентах несинусоидальности, находящихся в диапазоне значений, отвечающих требованиям ГОСТ находится на уровне 2-3%, что не вносит существенной погрешности в результаты расчетов. Лишь при значительном превышении предельно допустимого значения коэффициента несинусоидальности (принято в расчетах 20%) значение погрешности в определении критического момента достигло 8%.

Можно заключить, что практический критерий статической устойчивости $(dP/ds) > 0$ не подтверждает существенного влияния несинусоидальности формы кривой напряжения на расчеты запаса статической устойчивости узла с асинхронной нагрузкой.

Наличие несинусоидальности на характеристику потребляемой асинхронным двигателем реактивной мощности (с точки зрения критерия $(dQ/dU) = \infty$) источником гар-

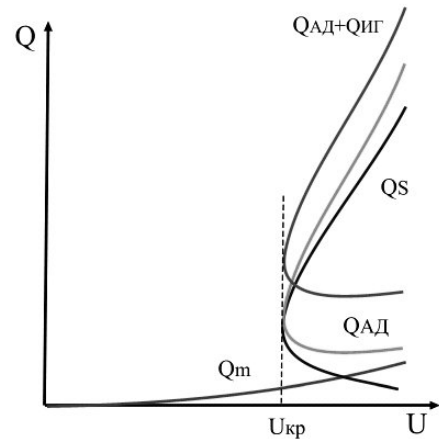


Рисунок 6 – Влияние несинусоидальности на критерий устойчивости $(dQ/dU) = \infty$

моник, очевидно, не окажет никакого влияния, поскольку дополнительные потоки реактивной мощности в обмотках статора и наведенные этими гармониками высокочастотные ЭДС ротора лишь пропорционально некоторой постоянной величине увеличат потоки реактивных мощностей в асинхронный двигатель. Вышесказанное приведет лишь к линейному перемещению относительно оси ординат характеристики результирующей мощности $Q_{ад} = f(U)$ как

показано на рисунке 6.

Данное обстоятельство позволяет судить о неизменности полученного по критерию $(dQ/dU) = \infty$ значения критического напряжения при наличии в узле источника высших гармоник.

Общеизвестно, что компенсация реактивной мощности в узле электрических нагрузок при помощи батарей статических конденсаторов приводит к снижению запасов устойчивости асинхронных двигателей.

В несинусоидальных электрических цепях реактивную мощность принято разделять на две составляющие [6]:

– мощность сдвига Q_c – часть реактивной мощности, которая характеризует процессы, обусловленные взаимодействием одинаковых по частоте гармоник тока и напряжения

$$Q_{ci} = I_i U_i \sin \varphi_i ; \quad (3)$$

– мощность искажения Q_u – часть реактивной мощности, которая характеризует процессы, обусловленные взаимодействием разных по частоте гармоник тока и напряжения

$$Q_{uik} = I_i U_k \sin \varphi_{ik} ; \quad (4)$$

– неактивная мощность Q_H – реактивная мощность, которая характеризует процессы взаимодействия всех без исключения гармоник тока и напряжения

$$Q_H = \sum_{i=1}^n Q_{ci} + \sum_{i=1}^n Q_{ui} . \quad (5)$$

В работе [6] показано, что мощность искажения может быть направлена от источника гармоник (ИГ) к узлу, тем самым уменьшая количество реактивной (а в ряде случаев, при рассмотрении ИГ как активного двухполюсника и активной) мощности.

От величины мощности источника гармоник напрямую будет зависеть степень снижения коэффициента запаса (степень увеличения критического напряжения) статической устойчивости узла нагрузок

$$E_{\varepsilon} = \sqrt{\left[U_{НОМ} + \frac{(Q_{АД} + Q_{ИГ}) X_C}{U_{НОМ}} \right]^2 + \left[\frac{(P_{АД} + P_{ИГ}) X_C}{U_{НОМ}} \right]^2} . \quad (6)$$

Расчеты для конкретного случая показали, что без учета высших гармоник по критерию $(dE/dU) = 0$ значение критического напряжения равно 0,728 о.е., а с учетом высших гармоник – 0,84 о.е.

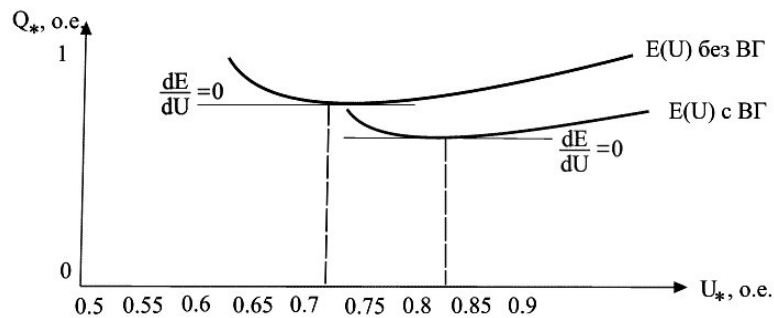


Рисунок 7 – Влияние несинусоидальности на критерий устойчивости $(dE/dU) = 0$

Таким образом, учет высших гармоник позволил уточнить значение критического напряжения на 15,4%. При этом и снизился коэффициент запаса устойчивости узла нагрузки электроэнергетической системы:

$$K_{\varepsilon 1} = \frac{U_{НОМ} - U_{КР1}}{U_{НОМ}} 100\% = \frac{1 - 0,728}{1} 100\% = 27,2\% ;$$

$$K_{\varepsilon 2} = \frac{U_{НОМ} - U_{КР2}}{U_{НОМ}} 100\% = \frac{1 - 0,84}{1} 100\% = 16\% .$$

Выводы: Увеличивающаяся доля нелинейной нагрузки в системах электроснабжения вызывает необходимость учета несинусоидальности при анализе статической устойчивости узлов нагрузок.

Практические критерии статической устойчивости $(dP/ds) > 0$ и $(dQ/dU) = -\infty$ не дают

полной картины влияния несинусоидальности на коэффициент запаса по статической устойчивости.

При питании узла электрических нагрузок от системы малой или ограниченной мощности влияние нагрузок, ухудшающих синусоидальность формы кривой напряжения и тока на снижение коэффициента запаса по статической устойчивости может иметь существенное значение. Для указанных случаев рекомендуется использовать критерий Жданова $(dE/dU) = 0$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Вопросы моделирования устройств обеспечения качества электрической энергии / А.Г. Лютаревич, В.Н. Горюнов, С.Ю. Долингер, К.В. Хацевский // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 168–173.
- 2 Горюнов, В.Н. Расчет потерь мощности от влияния высших гармоник / В.Н. Горюнов, Д.С. Осипов, А.Г. Лютаревич // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 268-273.
- 3 Моделирование критических режимов работы узлов электроэнергетических систем с асинхронной нагрузкой при исследовании статической устойчивости на промышленной частоте / А.А. Планков, Д.С. Осипов, В.А. Планкова, В.Л. Юша // Омск. науч. вестн. -2013. -№1(117). -С. 173-178.
- 4 Третьяков, А.Н. Влияние высших гармоник в сельских распределительных сетях 0,38 кВ на показатели качества электрической энергии: дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Третьяков. -Иркутск, 2006. -190 с.
- 5 ГОСТ Р 54149-2010. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Введ. 2013-01-01. -М.: Стандартиформ, 2012. -16 с.
- 6 Сулайманов, А.О. Неактивная мощность и ее составляющие в электроэнергетических системах: дис. ... канд. техн. наук / А.О. Сулайманов. -Томск, 2009. -135 с.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках выполнения соглашения № 14.В37.21.0332 от 27 июля 2012 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: критерии устойчивости, статическая устойчивость, асинхронная нагрузка, высшие гармоники

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Планков Александр Анатольевич, ассистент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Осипов Дмитрий Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Бугреева Александра Евгеньевна, техник-теплотехник ОАО «ТГК №11», Омский филиал
Долгих Надежда Николаевна, инженер ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
Вырва Андрей Аркадьевич, канд. техн. наук, управляющий директор ООО «ЮНГ-Энергонефть»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»
644037, г.Омск, ул.Партизанская, 10, ОАО «ТГК №11», Омский филиал
628305, ХМАО-Югра, г.Нефтеюганск, Промышленная зона Пионерная, ул.Жилая, 20, ООО «ЮНГ-Энергонефть»

ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Н.Г. Баляев, И.Г. Однокопылов

RESEARCH OF INDUCTION DRIVE OF HOIST BRIDGE CRANE
National research Tomsk polytechnic university
N.G. Balyaev, I.G. Odnokopylov

The simulation model of electric hoist bridge crane, based on variable-frequency induction motor is developed. The dynamic modes of electric hoist are presented.

Keywords: bridge crane, induction motor drive, simulation model, variable-frequency control

Разработана имитационная модель электропривода механизма подъема мостового крана, на основе частотно-регулируемого асинхронного электропривода. Проведены исследования динамических режимов электропривода механизма подъема.

Установлено, что около 80% отказов современных грузоподъемных машин в основном связано с динамическими нагрузками, которые приводят к повышенному изнашиванию трущихся элементов, усталостному разрушению несущих металлоконструкций и деформаций и т.п. Это свидетельствует о важности динамических расчетов, без которых невозможно создание машин с высокими технико-экономическими показателями.

Основным типом электропривода для механизмов передвижения кранов является электропривод на основе асинхронного двигателя (АД) с фазным ротором при реостатном управлении с помощью силовых контроллеров или простейших релейно-контакторных схем.

Но у таких схем управления имеются общеизвестные недостатки.

В настоящее время существуют пути совершенствования кранового электропривода. И один из них – это внедрение на крановые механизмы современных автоматизированных электроприводов на базе асинхронных электродвигателей с короткозамкнутым ротором построенных по экономичным принципам частотного управления. Такие электропривода в сложных условиях эксплуатации металлургического производства обеспечивают надежную работу оборудования и оправдывают свою высокую стоимость.

Цель данной работы заключается в исследовании частотно-регулируемого асинхронного электропривода механизма подъема мостового крана. Объектом исследования является кран мостовой двухбалочный опорный грузоподъемностью 10 т.

На рисунке 1 представлена функциональная схема работы электропривода механизма подъема мостового крана.

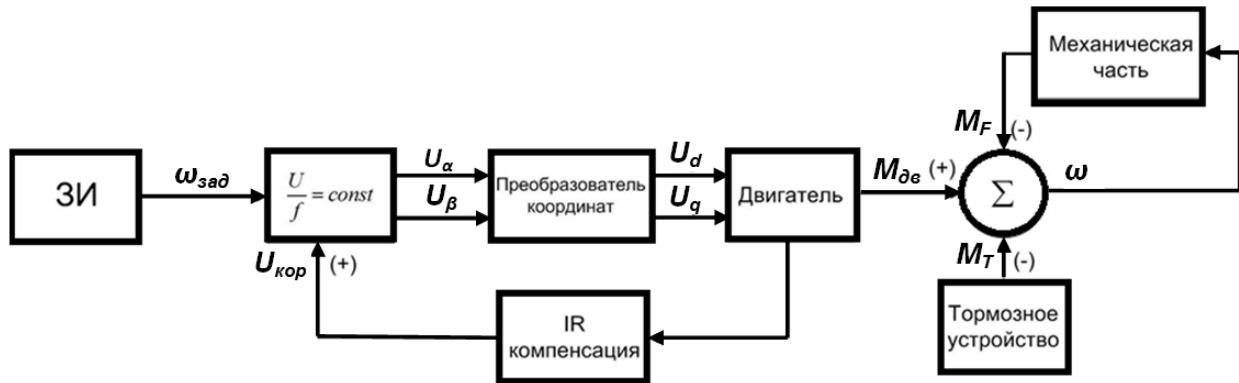


Рисунок 1 – Функциональная схема электропривода механизма подъема мостового крана

Для ограничения момента двигателя в пуско-тормозных режимах электропривода, применяется задатчик интенсивности (ЗИ) с S-образной характеристикой. Закон частотного регулирования U/f при скалярном управлении выбран согласно характеру нагрузки. Система IR-компенсации представляет собой нелинейную положительную обратную связь. Ее применение необходимо только в области малых скоростей двигателя [1].

Согласно требованиям, предъявляемым к электроприводу главного подъема, был выбран краново-металлургический электродвигатель переменного тока серии 5А160S6.

На рисунке 2 приведена кинематическая схема механизма подъема. Двигатель (Д) через электромагнитный тормоз (Т) и редуктор (Р) приводит во вращение барабан лебедки (Б), на который наматывается канат при подъеме груза. Грузозахватное приспособление подвешивается на подвижных блоках (ПБ), которые образуют с неподвижными относительно лебедки блоками (НБ) полиспаст.

Данную кинематическую схему представим в виде расчетной модели, показанной на рисунке 3. Масса m_1 складывается из массы кранового моста и массы тележки, а масса m_2 – из массы груза и крюковой подвески или грейфера. Жесткость подъемного каната обозначена через c_2 , а жесткость кранового моста – через c_1 и зависит от положения тележки. Линейная скорость наматывания каната на барабан обозначена как v . Длина каната намотанного на барабан обозначена как $l = v \cdot t$. Координата движения массы металлоконструкции обозначена как x_1 , груза – x_2 .

Подъем груза будем рассматривать в два этапа (см. рисунок 3). Первый этап начинается с момента пуска двигателя и заканчивается непосредственно перед отрывом груза от основания. Второй этап начинается с момента отрыва груза от основания [2].

По приведенным ниже дифференциальным уравнениям движения [3] были рассчитаны перемещения крана x_1 и груза x_2 :

$$\begin{cases} m_1 \frac{d^2 x_1}{dt^2} + (c_1 + c_2) x_1 - c_2 x_2 = -c_2 v t; \\ m_2 \frac{d^2 x_2}{dt^2} - c_2 x_1 + c_2 x_2 = c_2 v t - m_2 g. \end{cases} \quad (1)$$

На рисунке 4 представлена модель механической части механизма подъема, собранная

при помощи программного пакета Matlab Simulink по дифференциальным уравнениям (1).

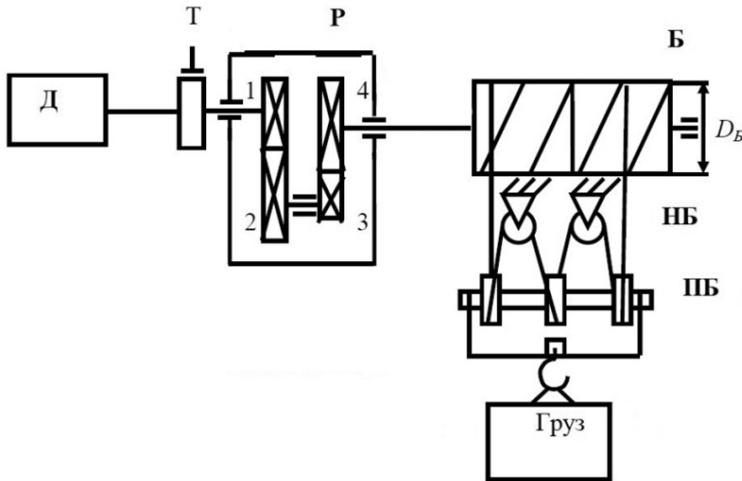


Рисунок 2 – Кинематическая схема механизма подъема

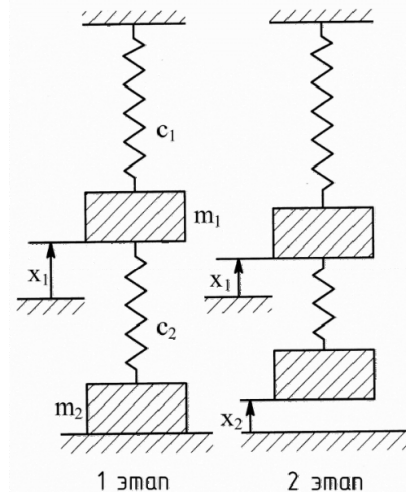


Рисунок 3 – Расчетная модель мостового крана

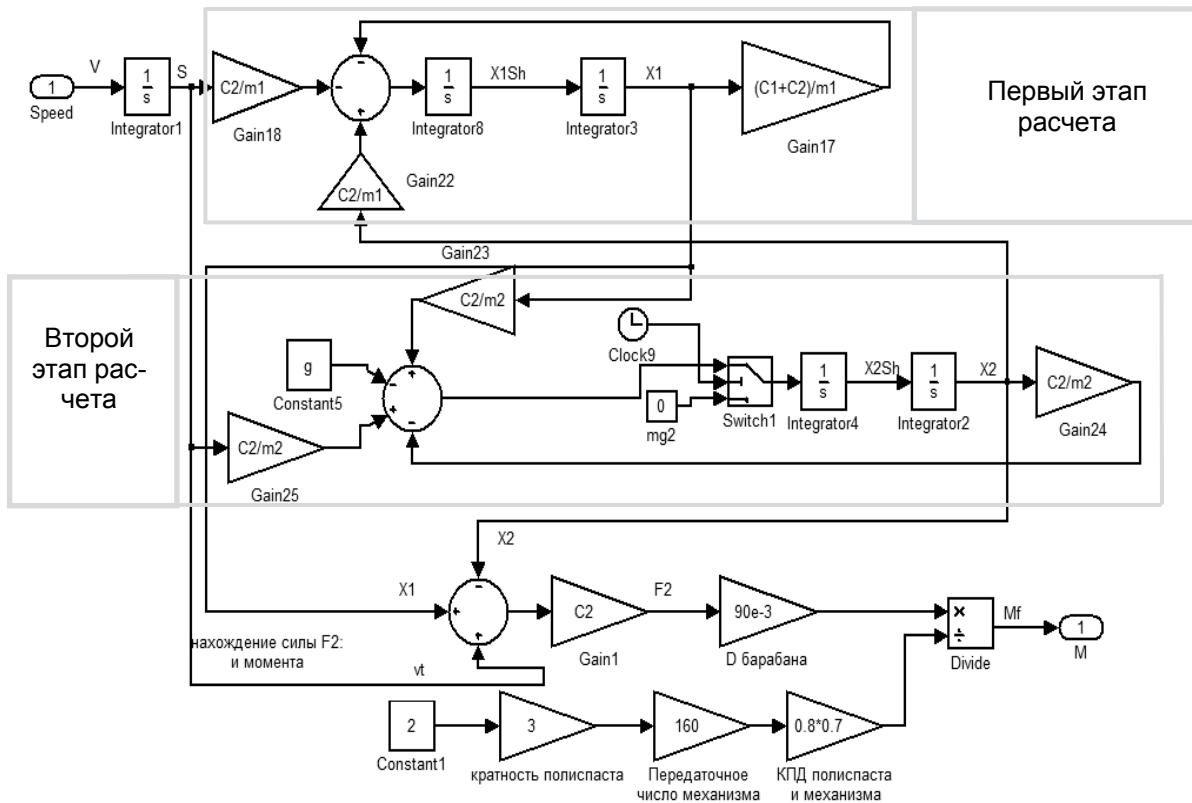


Рисунок 4 – Модель механической части механизма подъема

На рисунке 5 представлена модель электропривода механизма подъема, собранная в среде MATLAB SIMULINK.

Имитационная модель электропривода механизма подъема мостового крана включает в себя: блок задатчика интенсивности (ЗИ), блок скалярного управления с законом управления $(U/f) = \text{Const}$ (Subsystem1), преобразователь координат (Subsystem), модель двигателя во вращающейся системе координат с IR-компенсацией (Motor), модель тормозного устройства с реактивным моментом (Тормоз), двухмассовая модель механической части механизма подъема (Кран).

При исследовании работы электропривода механизма подъема мостового крана были получены следующие результаты. На рисунке 6 приведены переходные процессы пуска АД.

Наибольшие динамические нагрузки возникают при подъеме груза с основания. В на-

чальный момент времени пуска скорость вращения вала двигателя остается равной нулю, так как разгону двигателя препятствует момент, создаваемый механическим нормально-замкнутым тормозом. При пуске электропривода момент АД увеличивается, а момент тормоза уменьшается. В момент времени ($t = 0,28$ с), когда значение момента двигателя превысит значение момента тормозного устройства двигатель начинает разгоняться и плавно выходит на скорость холостого хода.

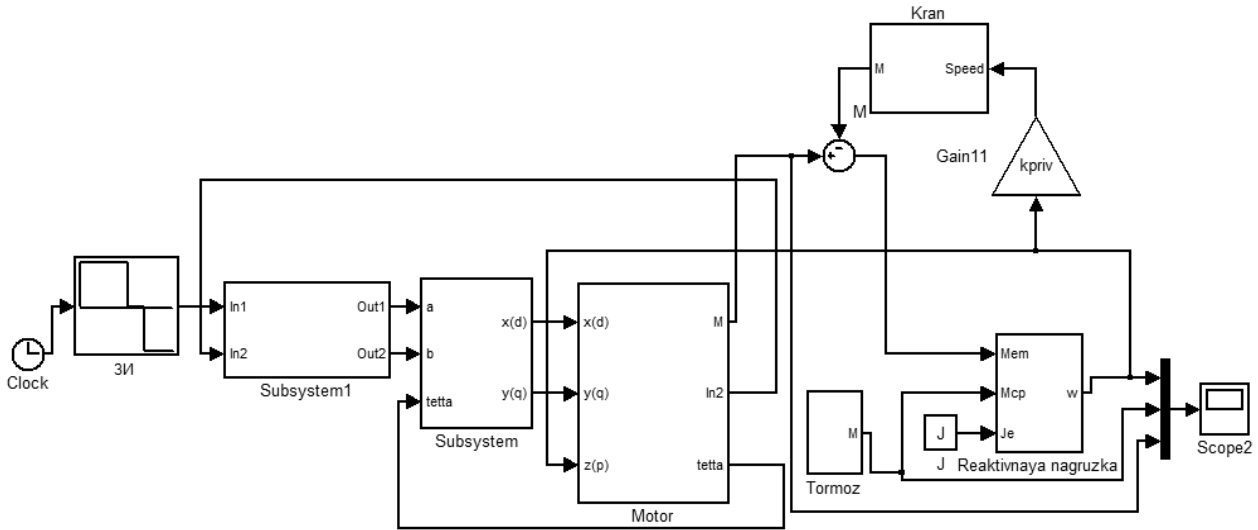


Рисунок 5 – Имитационная модель электропривода механизма подъема мостового крана

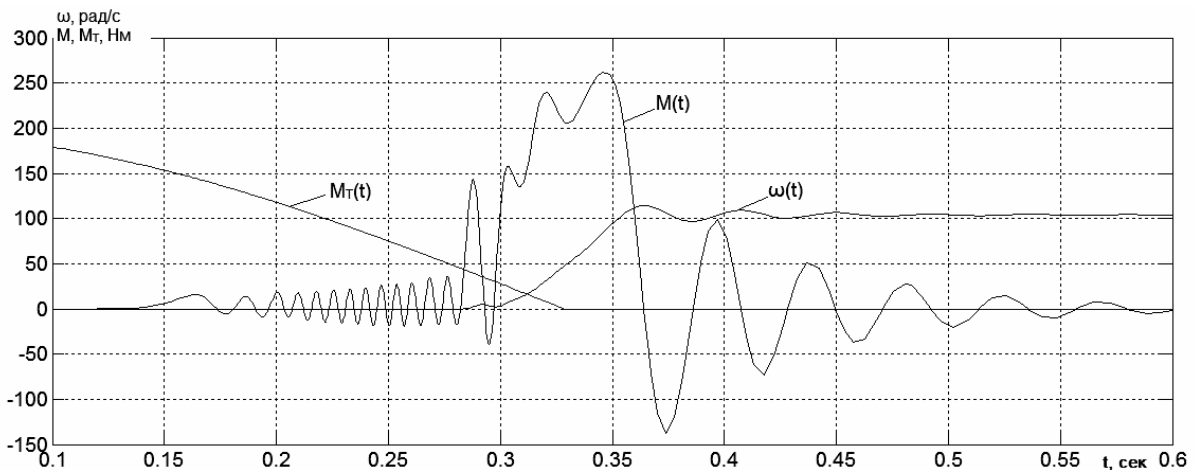


Рисунок 6 – Переходные процессы пуска АД

На рисунке 7 можно рассмотреть два этапа расчета подъема груза. Первый этап начинается при $t = 5$ с. На этом этапе происходит выборка и натяжение каната. При натяжении каната мост крана прогибается ($x_1 = 1,25$ см), а груз остается в покое ($x_2 = 0$). Далее начинается второй этап в момент времени $t = 12,1$ с, когда $F_2 = m_2 g$. На втором этапе момент двигателя принимает установившееся значение. Подъемный канат перемещается по закону $s = vt$.

На рисунке 7 можно рассмотреть полный цикл работы электропривода механизма подъема мостового крана. На данном графике можно выделить три этапа работы мостового крана: подъем груза, останов груза и опускание груза. Опускание груза происходит с той же скоростью, что и подъем груза, но при подходе груза к площадке выгрузки скорость спуска можно уменьшить, тогда груз плавно опустится на площадку.

Разработанная имитационная модель электропривода механизма подъема мостового крана позволяет получить переходные процессы асинхронного двигателя и динамические характеристики, металлоконструкции крана.

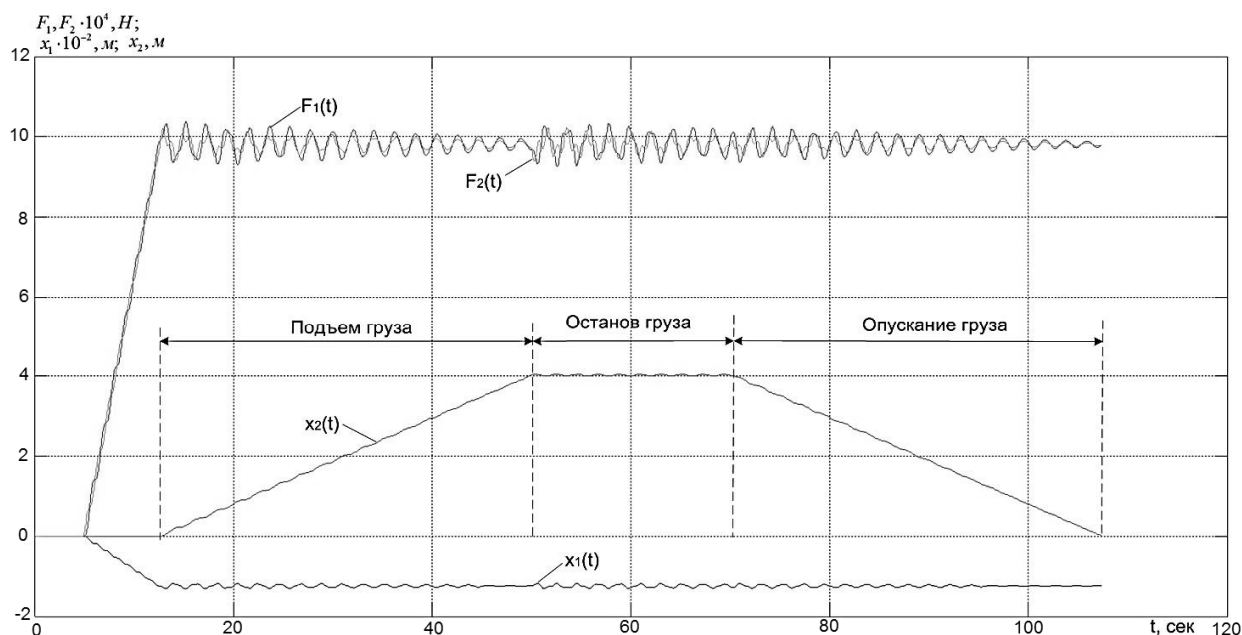


Рисунок 7 – Полный цикл работы мостового крана

Важным параметром при настройке привода является время включения и отключения механического тормоза. Правильная настройка тормоза, позволит получить более высокие технико-экономические показатели электропривода.

При работе мостового крана используют, как правило, механизм подъема совместно с механизмом передвижения тележки. Одновременная работа двух механизмов приведет к особым динамическим процессам. Поэтому важным будет являться проведения исследований динамических режимов мостового крана при работе двух механизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Однокопылов, Г.И. Повышение живучести частотно-регулируемого асинхронного электропривода / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов // Изв. ТПУ. -Томск, 2005. -№7. -С. 143-148.
 2 Дементьев, Ю.Н. Асинхронный электропривод кранового механизма с микроконтроллерным ограничителем грузоподъемности / Ю.Н. Дементьев, Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. -2006. -№3. -С. 49-53.
 3 Грузоподъемные краны. В 2 кн. Кн. 2.: сокр. пер. с нем. / Г. Пайер [и др.]; под ред. М.П. Александрова; пер. М.М. Рунова, В.Н. Федосеева. -М.: Машиностроение, 1981. -287 с.: ил.

Работа выполнена в рамках государственного задания №7.2826.2011.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: мостовой кран, асинхронный электропривод, имитационная модель, частотно-регулирование
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Баляев Николай Григорьевич, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 Однокопылов Иван Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА В MATLAB SIMULINK

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

М.А. Шелпаков, И.Г. Однокопылов

RESEARCH OF FREQUENCY-CONTROLLED ELECTRIC DRIVE ELEVATOR IN MATLAB SIMULINK
 National research Tomsk polytechnic university
 M.A. Shelpakov, I.G. Odnokopylov

Simulation of electromechanical system passenger elevator is presented. Based on the dynamic model of the lift with the rope elasticities transient response states are obtained at start and stop. Also analyzed the transient response of the motor.

Keywords: induction electric drive, passenger elevator, mechanical three-mass system

Выполнено моделирование электромеханической системы пассажирского лифта. На основе ди-

намической модели лифта с учетом упругостей канатов получены переходные характеристики состояния кабины при пуске и торможении. Также проанализированы переходные характеристики электродвигателя.

Возрастающий парк подъемных механизмов требует совершенствования средств внутреннего транспорта зданий на основе современных научно-технических достижений.

В настоящее время в нашей стране стоит проблема замены устаревшего лифтового оборудования с релейно-контакторной системой управления на более надежную, безопасную и простую в обслуживании систему управления лифта.

Большинство электроприводов лифта представляют собой конструкцию, состоящую из асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором, редуктора, тормозного устройства и релейно-контакторной схемы управления.

Благодаря развитию микропроцессорной техники и систем частотно-регулируемого электропривода переменного тока, одним из вариантов решения проблемы является применение системы преобразователь частоты – асинхронный двигатель. Регулирование скорости двигателей переменного тока изменением частоты подводимого к статору напряжения по существу весьма экономично и может обеспечить плавное регулирование в широких пределах. Для обеспечения этого способа регулирования скорости необходимо преобразовательное устройство, позволяющее плавно регулировать частоту и по соответствующему закону изменять при этом напряжение переменного тока.

Целью данной работы является качественная и количественная оценка динамических процессов, происходящих в электромеханической системе лифта при пуске и торможении.

При решении поставленной задачи использовались: теория электропривода и электрических машин, имитационное моделирование с использованием программы MATLAB Simulink.

При соблюдении условий отсутствия буксования расчетная динамическая модель лифта имеет вид крутильной системы, приведенной к валу двигателя (рисунок 1) [1].

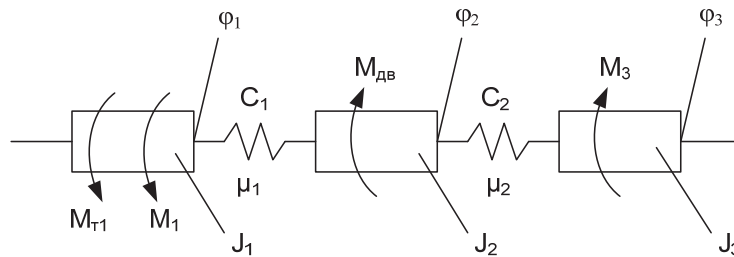


Рисунок 1 – Динамическая модель лифта

Уравнения движения тел системы:

$$\ddot{\varphi}_1 = \frac{C_1 \varphi_2 - C_1 \varphi_1 + \mu_1 \dot{\varphi}_2 - \mu_1 \dot{\varphi}_1 - M_1 - M_{T1}}{J_1};$$

$$\ddot{\varphi}_2 = \frac{C_1 \varphi_1 - C_1 \varphi_2 - C_2 \varphi_2 + C_2 \varphi_3 + \mu_1 \dot{\varphi}_1 - \mu_1 \dot{\varphi}_2 - \mu_2 \dot{\varphi}_2 + \mu_2 \dot{\varphi}_3 + M_{дв}}{J_2};$$

$$\ddot{\varphi}_3 = \frac{C_2 \varphi_2 - C_2 \varphi_3 + \mu_2 \dot{\varphi}_2 - \mu_2 \dot{\varphi}_3 + M_3}{J_3},$$

где J_1, J_2, J_3 – моменты инерции кабины и груза, лебедки, противовеса приведенных к валу двигателя;

C_1, C_2 – жесткость канатов подвески кабины и противовеса;

μ_1, μ_2 – коэффициенты демпфирования колебаний в подвесках кабины и противовеса;

$M_{T1}, M_1, M_{дв}, M_3$ – крутящие моменты от силы трения кабины с грузом о направляющие, веса кабины и груза, двигателя и веса противовеса;

$\varphi_1, \varphi_2, \varphi_3$ – углы поворота кабины, ротора двигателя и противовеса.

Математическое описание асинхронного двигателя с короткозамкнутым ротором было выбрано на основе вращающейся системе координат d, q , ориентированной по вектору потока сцепления ротора [2].

Для численного решения уравнений использовалась программа MATLAB Simulink. На

основании математического описания основных узлов электропривода лифта была разработана имитационная модель, которая представлена на рисунке 3. Представленная модель включает в себя асинхронный двигатель (Dvigatel), модель механической части лифта (Lift), которая была составлена по уравнениям движения трехмассовой системы, а также модель механического колодочного тормоза (Tormoz), который реализован с помощью блока Lookup Table.

В качестве результатов имитационного моделирования электропривода лифта приведены графики переходных процессов пуска и остановки двигателя и кабины лифта (рисунки 4, 5).

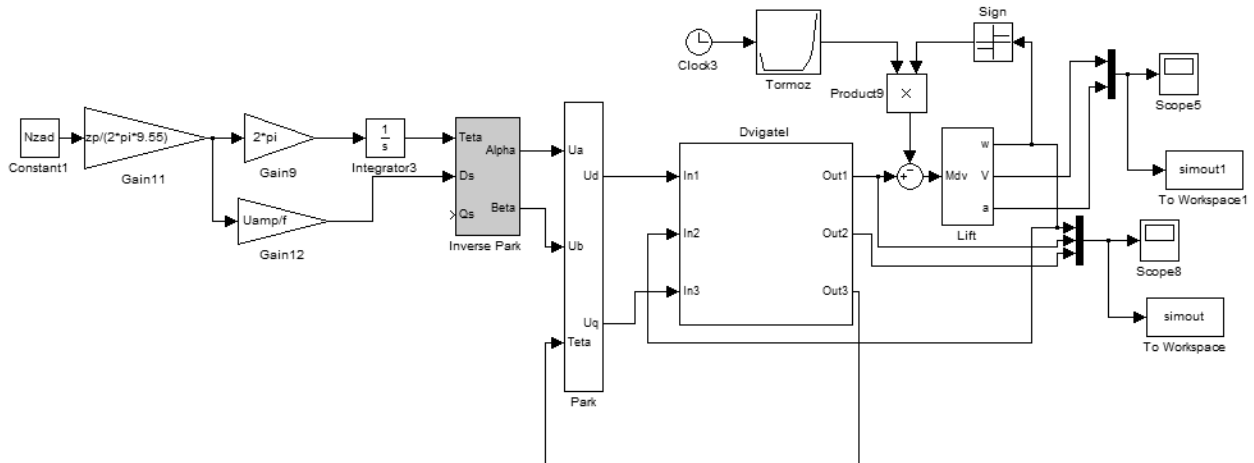


Рисунок 3 – Имитационная модель электропривода лифта

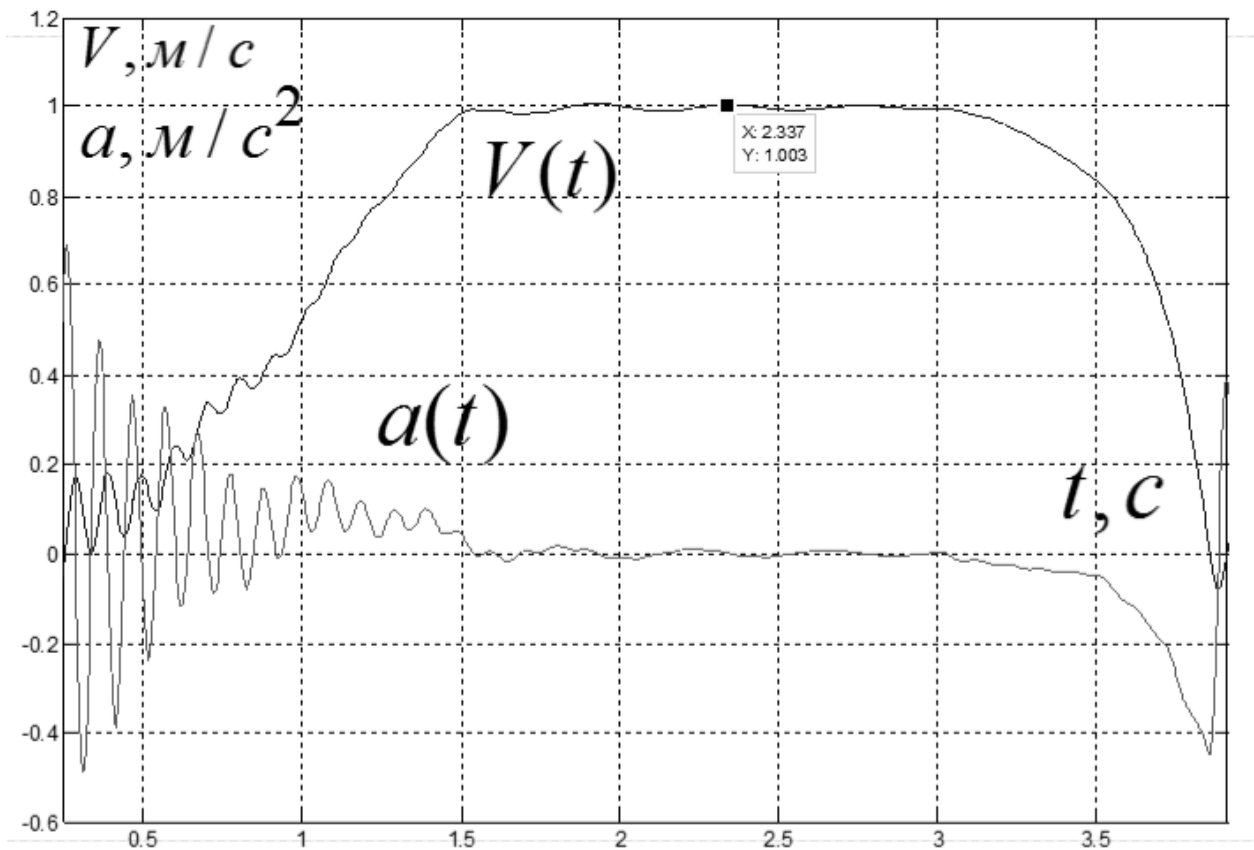


Рисунок 4 – Ускорение и скорость кабины лифта

На рисунке 4 представлены переходные процессы ускорения и скорости кабины лифта.

Из полученных данных видно, что скорость кабины устанавливается до требуемого значения за 1,5 с. Ускорение кабины не превышает допустимого значения $1,5 \text{ м/с}^2$, что удовлетворяет необходимым требованиям, предъявляемым к пассажирским лифтам, с точки зрения комфорта и безопасности.

На рисунке 5 показаны динамические характеристики асинхронного двигателя с полностью загруженной кабиной. Электропривод устойчиво работает во всех динамических режимах.

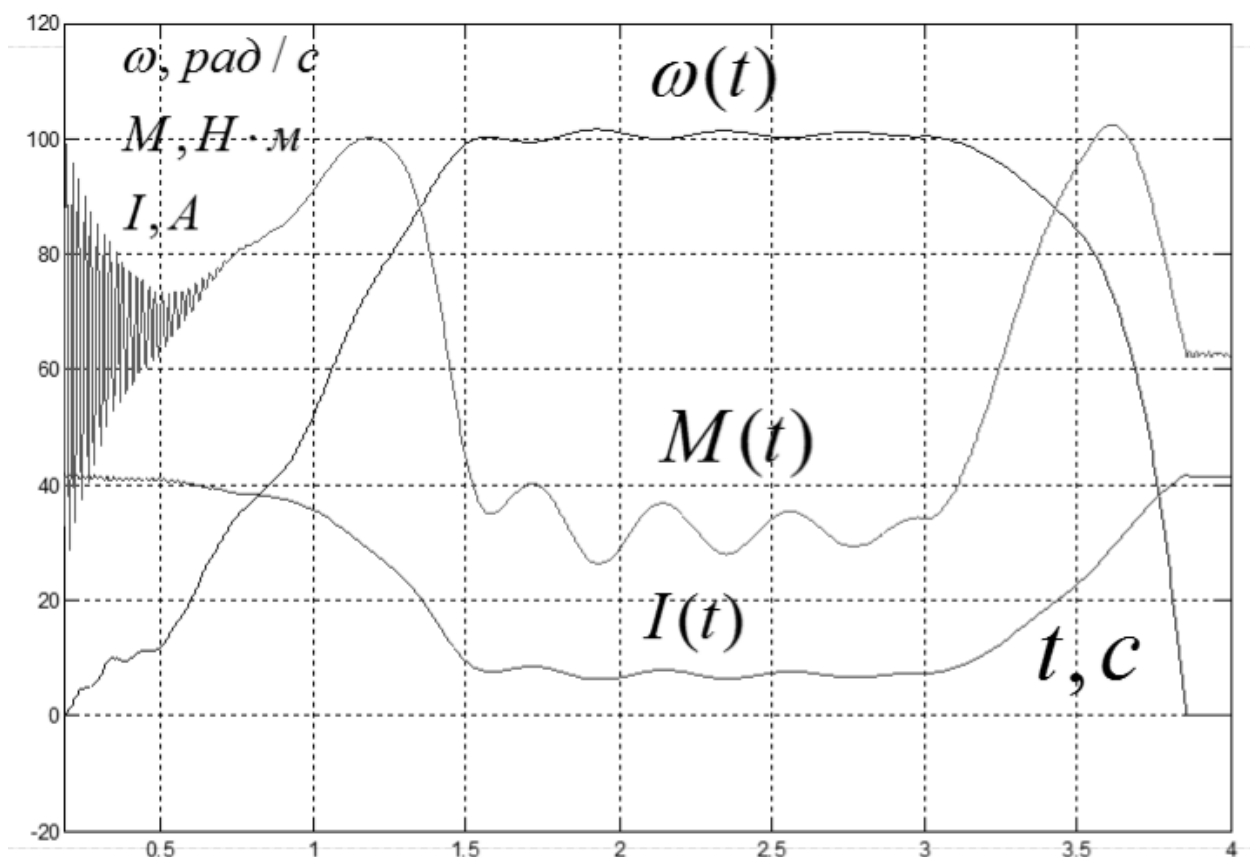


Рисунок 5 – Момент, скорость и ток двигателя

Разработанная имитационная модель позволяет провести исследования асинхронного двигателя в динамических режимах при подъеме и опускании груза, а также провести детальные исследования механической части привода.

Анализ работы лифта показывает, что в динамических режимах отсутствуют броски тока и момента, скорость выходит на номинальную без существенной ошибки, ускорение не выходит за допустимые пределы, то есть исследуемый электропривод полностью соответствует предъявляемым требованиям.

Совместная работа электромеханической системы лифта и требования к безопасности, комфортности и точной остановки ставят жесткие условия для разработки системы управления приводным двигателем. Именно в этой области необходимо проводить дальнейшие исследования электропривода лифта.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бондарев, С.В. Исследование переходных процессов в электромеханической системе пассажирского лифта с использованием программной системы Matlab / С.В. Бондарев, Ю.П. Горбатенко, О.В. Загора // Вісник машинобудування. -2010. - Вып.59. -С. 228-232.
- 2 Удут, Л.С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч.8. Асинхронный частотно-регулируемый электропривод: учеб. пособие / Л.С. Удут, О.П. Мальцева, Н.В. Кояин. -Томск: Изд-во Том. политехн. ун-та, 2009. -441 с.

Выполнен в рамках государственного задания №7.2826.2011.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: пассажирский лифт, механическая трехмассовая система, асинхронный электропривод
 СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шелпаков Михаил Алексеевич, студент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 Однокопылов Иван Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
 ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ОБСЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИБИРИ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

В.В. Литвак, Е.П. Богданов

INSPECTION OF HIGH-VOLTAGE ELECTRIC GRIDS OF SIBERIA
National research Tomsk polytechnic university
V.V. Litvak, E.P. Bogdanov

The findings of inspection of high-voltage electric grids belonging to JSC "Interregional Distribution Grid Company of Siberia" with the use of external, independent and objective methods provides the identification of grid capacity reserves and developing measures to lower the losses and to suppress asymmetric and harmonic distortion are presents.

Keywords: loading of power lines, power distribution, transformers

Представлены результаты обследования электрических сетей ОАО «Межрегиональная распределительная сетевая компания Сибири» средствами внешнего, независимого и объективного контроля, позволяющие выявить резервы пропускной способности сети, выработать меры по снижению потерь, подавлению искажений симметрии и синусоидальности.

«МРСК Сибири» осуществляет передачу и распределение электрической энергии по сетям 35-110 кВ на территории субъектов Российской Федерации: республик Алтай, Бурятия, Хакасия, Алтайского, Забайкальского, Красноярского краев, Кемеровской, Омской и Томской областей. Территория составляет 4,023 млн. км² (23% территории России). Население 14,1 млн. человек (10% населения России).

В составе «МРСК Сибири» девять территориальных филиалов, 764 подстанции с высшим напряжением 110 кВ и 946 линий электропередачи 110 кВ суммарной длиной около 30 тыс. км. Сети введены в эксплуатацию 40-50 лет назад. За эти годы сети изменили свое назначение. Они потеряли системообразующую функцию и осуществляют теперь только распределение электроэнергии к центрам электрических нагрузок. Нагрузка сетей определяется нагрузкой потребителей, а не системными перетоками. При этом общее производство и потребление электроэнергии в стране и регионах выросли значительно.

Целью инструментального обследования электрических сетей «МРСК Сибири» являлся анализ загрузки оборудования, линий электропередач и трансформаторов для разработки мер повышения эффективности работы этих сетей.

Задачи обследования:

- измерение загрузки сетей 110 кВ по току, активной и реактивной мощностям;
- выборочный анализ загрузки линий электропередачи 110 кВ относительно допустимого и экономического режима;
- выборочный анализ загрузки трансформаторов 110 кВ относительно номинальной мощности;
- анализ уровней симметричности и синусоидальности режимов оборудования по перетокам.

Количество обследованных объектов (линий и трансформаторов) составило около 10% от всех работающих. Измерения проведены на 60 подстанциях. Это дает основания предполагать, что характеристики загрузки остальной сети близки к полученным.

Основным измерительным средством для обследования явился комплект переносных приборов AR-5 (фирмы CIRCUTOR, Испания), включенных в государственный реестр средств измерения России. Инструментальные обследования проведены в соответствии с государственными стандартами России сотрудниками Национального исследовательского Томского политехнического университета.

Фазные напряжения на шинах 110 кВ находились в пределах от 66,3 кВ (104,3% от номинального) до 67,45 кВ (106,1% от номинального). Среднее значение 66,85 кВ (105,1% от номинального). В 75% наблюдений максимальное напряжение на шинах находится в пределах от 103 до 111% от номинального. Это говорит о хорошем соответствии требованиям норм и правил. Повышенные напряжения на шинах подстанций отмечены в ночное время в период снижения активных нагрузок.

Основная масса случаев минимального напряжения (до 90%) соответствует требованиям норм.

Инструментальное обследование электрических сетей 110 кВ «МРСК Сибири» показало, что суточный ход напряжений на шинах 110 кВ большинства обследованных подстанций находится в пределах установленных норм.

В ночное время, при снижении нагрузки подстанций, напряжение на шинах поднимается в среднем до уровня (105-110)% от номинального. Днем, при росте нагрузки напряжение на шинах 110 кВ уменьшается до (103–107)% от номинального. В отдельных случаях временно наблюдалось снижение напряжения до (90–95)% от номинального, а также повышение напряжения до (112–115)% от номинального.

Загрузка линий электропередачи 110 кВ имеет уровень существенно меньший, чем это предполагалось ранее [1]. Только 3,6% линий, из числа обследованных имеют максимальную нагрузку более 70% от допускаемой по нагреву, а 24% – нагрузку менее 10%. Более половины линий работают с загрузкой меньше 20%, а 77% линий – с нагрузкой менее 30% от допускаемой.

Сопоставление фактических и экономических токов линий показано, что около 80% ЛЭП имеют максимальные токи меньше, чем 70% от экономических, а более 50% линий – до половины от экономического уровня. Это означает, что с одной стороны нагрузочные потери электроэнергии в линиях электропередачи в 2-4 раза ниже, чем в линиях, имеющих, полную экономическую нагрузку. С другой стороны сеть 110 кВ имеет существенный резерв пропускной способности, достигающий двукратного уровня.

Средняя загрузка обследованных силовых трансформаторов 110 кВ составила 45% по отношению к номинальной мощности. Загрузка трансформаторов находится на приемлемом для эксплуатации уровне и имеет некоторый резерв для увеличения нагрузок. 14% обследованных трансформаторов нагружены менее 20% от номинальной мощности и 11,3% – нагружены более чем на 80%.

На распределение реактивных мощностей в сети 110 кВ оказывают влияние две противоположные тенденции: изменение реактивных нагрузок подстанции и зарядные мощности примыкающих к подстанции линий. Коэффициент мощности в обследуемых линиях изменяется в широких пределах. В диапазоне (-0,9)...(+0,9), установленном в качестве допустимого, он находится только 53,3% по времени. В остальных случаях наблюдается кратковременный выход за пределы диапазона. Искажение симметрий фазных напряжений и токов в сетях 110 кВ «МРСК Сибири» незначительны. Амплитуды фазных напряжений обратной последовательности, находятся в пределах до 0,45% от амплитуды напряжений прямой последовательности. Амплитуды напряжений нулевой последовательности достигают 1%. Токи обратной последовательности не превышают 1%, а нулевой последовательности – 0,7%. Большинство нейтралей трансформаторов 110 кВ изолированы по режимным соображениям. Это обеспечивает низкий уровень токов нулевой последовательности. Несимметрия напряжений и токов практически не увеличивает загрузку линий электропередачи и трансформаторов.

Налицо существенное искажение синусоидальности токов и напряжений в сети 110 кВ. Все обследованные линии электропередачи и большинство трансформаторов характеризуются заметным уровнем коэффициентов искажений синусоидальности, которые во времени изменяются в широких пределах [2, 3]. У половины линий значение коэффициента искажения синусоидальности токов достигают 10%. Средний уровень искажений тока соответствует 6,7%, напряжения – 0,9%. Некоторые линии имеют уровень коэффициента искажений синусоидальности более 60%.

Спектральное разложение кривой тока показано, что главным действующими агентами являются гармоники канонического ряда – 3, 5, 7, 11 линии электропередачи 110 кВ.

Обследование показало, что многие линии 110 кВ имеют режимы, близкие к резонансу на высших гармониках. Резонансный режим на высших гармониках заметно увеличивает нагрузку линии и потери электроэнергии в ней.

Проведение периодических инструментальных обследований сетей средствами внешнего, независимого и объективного контроля позволяет выявить резервы пропускной способности сети и выработать меры по снижению потерь в ней и подавлению искажений симметрии и синусоидальности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Аррилага, Дж. Гармоники в электрических системах: пер. с англ. / Дж. Аррилага, Д. Боджер. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -320 с.
- 2 ГОСТ 13109-97. МЭК 354-91. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения.

-М.: Изд-во стандартов, 1998. -31 с.

3 Правила технической эксплуатации электростанций и сетей Российской Федерации: приказ Минэнерго Рос. Федерации №229 от 19 июня 2003 г.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *загрузка линий электропередачи, распределение электрической энергии, трансформаторы*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Литвак Валерий Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Богданов Евгений Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный аграрный университет»

А.Ю. Кузнецов

ELECTROMAGNETIC MOMENT IN THE STATIONARY MODE THE ASYNCHRONOUS ELECTRIC DRIVE WITH POWER SUPPLY FROM FREQUENCY CONVERTERS

Novosibirsk state agrarian university
A.Yu. Kuznetsov

The article considers the problems of the optimal control of frequency-controlled asynchronous electric motor with a power supply from the frequency Converter with pulse-width modulation.

Keywords: asynchronous electric drive, energy saving, frequency control

Рассмотрены вопросы оптимального управления частотно-регулируемого асинхронного электродвигателя с питанием от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией.

В массовых системах регулируемого электропривода, применяющихся в настоящее время в промышленности, системах водоснабжения и работающих в основном в продолжительных стационарных режимах с постоянным, либо медленно изменяющимся моментом нагрузки, наибольшее распространение получил электропривод переменного тока, в особенности асинхронный, потребляющий более половины всей вырабатываемой электроэнергии. Это стало возможным благодаря последним достижениям в области теории электрических машин и электроприводов переменного тока, созданию современных полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов.

Наибольшее распространение в практике построения систем управления асинхронным электроприводом, реализующих заданные стационарные показатели, получили системы, питающиеся от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ)

В стационарном режиме асинхронной машины, питающейся от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией, из-за несинусоидальности формы статорного напряжения присутствует пульсирующая составляющая электромагнитного момента $M_n(t)$ [1]. Высокочастотная пульсирующая составляющая электромагнитного момента вызывает в стационарном режиме соответствующее пульсирование угловой скорости ротора машины.

Частоту пульсаций модуляционных составляющих обычно принимают равной половине значения результирующей частоты коммутации силовых ключей преобразователя частоты с ШИМ.

$$f_n = \frac{f_s}{2}. \quad (1)$$

С учетом широко принимаемых в электроприводе допущений, в том числе допущения о равенстве среднего значения развиваемого электромагнитного момента M^* электродвигателя моменту статической нагрузки M_c привода. В рассматриваемом стационарном режиме присутствует динамическая составляющая момента M_δ привода, равная значению модуляционной составляющей электромагнитного момента машины $M_n(t)$ [2], что позволяет основное уравнение движения электропривода записать в виде

$$M_\delta = M_n(t) = J \frac{d\omega(t)}{dt}. \quad (2)$$

Из которого можно вычислить зависимость изменения скорости ротора машины в стационарном электромеханическом процессе:

$$\begin{cases} \omega(t) = \omega^* + \omega_n(t'); \\ \omega_n(t) = \frac{1}{J} \int_0^t M_n(t) dt + \omega_n(0) = k \left(-\frac{1}{2} \right)^n \Delta I_n \left[t' - \frac{(t')^2}{\tau_n} \right] \psi_{r1} \sin \varphi + \omega_n(0) = \left(-\frac{1}{2} \right)^n \left[t' - \frac{(t')^2}{\tau_n} \right] \frac{L_m^2 I_1 \Delta I_n \beta}{R_r (1 + \beta^2 T^2)}. \end{cases} \quad (3)$$

где $\omega_n(t')$ – пульсирующая составляющая скорости ротора;

t' – время межкоммутационного интервала;

τ_n – длительность n -го межкоммутационного интервала;

$\omega_n(0)$ – пульсирующая составляющая скорости в начале n -го межкоммутационного интервала;

β, φ – значения абсолютного скольжения и угла нагрузки машины.

В практической плоскости целесообразно определять размах пульсаций скорости ротора в стационарном электромеханическом процессе для n -го межкоммутационного интервала

$$\Delta \omega = \left| \omega \left(\frac{\tau_n}{2} \right) - \omega \left(\tau_n - \frac{1}{2} \right) \right| = \left(\frac{1}{J} \right) \int_{\frac{\tau_{n-1}}{2}}^{\tau_{n-1}} M_n(t) dt' + \frac{1}{J} \int_0^{\frac{\tau_n}{2}} M_n(t) dt' = \frac{\tau_{n-1} + \tau_n}{8J} \cdot \frac{L_m^2 I_1 \Delta I_n \beta}{R_r (1 + \beta^2 T^2)} = \frac{\tau_{n-1} + \tau_n}{8J} \Delta M. \quad (4)$$

где $\omega(\tau_n/2), \omega(\tau_{n-1}/2)$ – максимальное и минимальное значение скорости в стационарном режиме на временном интервале $t_n - (\tau_{n-1}/2) \leq t \leq t_n + (\tau_n/2)$;

ΔM – величина пульсаций электромагнитного момента, вызванная несинусоидальностью формы выходного тока преобразователя с ШИМ и изображенная на рисунке 1.

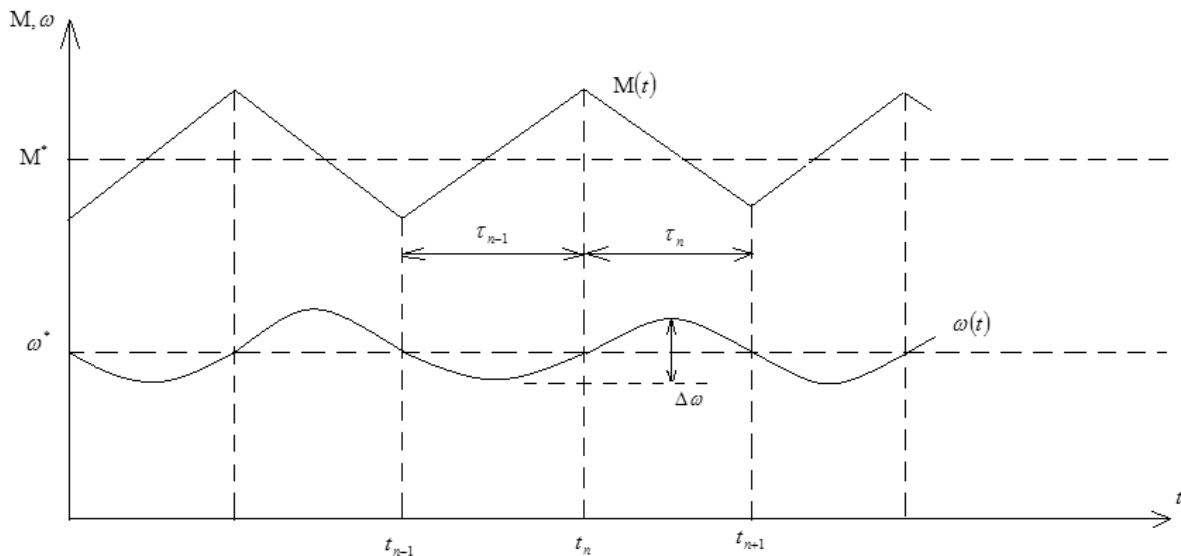


Рисунок 1 – Временные диаграммы стационарных электромеханических процессов: $\omega(t), M(t)$ – текущие значения соответственно угловой скорости ротора и электромагнитного момента; ω^*, M^* – средние значения соответственно угловой скорости ротора и электромагнитного момента в течение каждого из межкоммутационных интервалов

В специальных инженерных расчетах при выборе мощности электропривода достаточно использовать формулу, позволяющую вычислить размах пульсаций скорости

$$\Delta \omega \leq \frac{\Delta M \tau_{max}}{4J}, \quad (5)$$

где τ_{max} – максимальная длительность межкоммутационного интервала.

Практический интерес представляет определение максимальной длительности межкоммутационного интервала τ_{max} и соответствующего размаха пульсаций при скорости ротора электрической машины близкой к нулю. В стационарном режиме значение максималь-

ной и минимальной длительности межкоммутационного интервала с управлением близкой к нулю скорости вращения ротора можно вычислить по выражениям:

$$\tau_{max} = \frac{L_{\sigma} \sqrt{2I_1 \Delta I_n}}{U_{s(m)}(0)}; \tau_{min} = \frac{L_{\sigma} \Delta I_n}{U_{s(m)}(0)}, \quad (6)$$

где $U_{s(m)}(0)$ – модуль создаваемого преобразователем частоты с ШИМ обобщенного вектора статорного напряжения.

Для инженерных вычислений приведенный способ расчета модуляционных влияний вполне обеспечивает получение необходимых данных, для повышения точности, в частности при скоростях электропривода близких к нулю, требуется учитывать множество факторов [4], в том числе изменения при нагреве сопротивления обмотки статора [3] и низкочастотный дрейф интегратора. Это тем более важно, что электроприводы большинства производственных механизмов в водоснабжении работают на низких скоростях, имея при этом завышенную мощность, часто превышая даже в 2-3 раза необходимую. Изменения сопротивления обмотки статора при нагреве можно учесть корректировкой усредненных значений абсолютного скольжения и угла нагрузки машины. Уменьшение дрейфа интегратора можно добиться применением в цепи интегратора фильтра низких частот [5] с передаточной функцией

$$W_{\phi}(P) = \frac{T_{\phi}}{T_{\phi}P + 1}, \quad (7)$$

где T_{ϕ} – постоянная времени фильтра.

На рисунке 2 показаны логарифмические амплитудные частотные характеристики $L_m |W_1(j\omega)|$ и $L_m |1/j\omega|$, где видно, что в области частот, при больших скоростях двигателя эти характеристики практически совпадают с $1/T_{\phi}$.

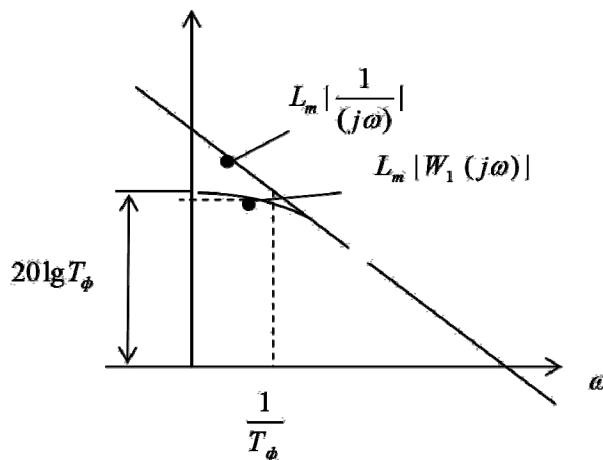


Рисунок 2 – Амплитудные частотные характеристики для определения электромагнитного момента и потокосцепления статора

Но на частотах близких к $1/T_{\phi}$ точность интегрирования снижается, а при $\omega \ll 1/T_{\phi}$ почти полностью перестает соответствовать значению потокосцепления и электромагнитного момента.

Используя ранее приведенные выражения для τ_{max} и τ_{min} , и зависимости для вычисления пульсаций электромагнитного момента ΔM [6] с учетом погрешности на интегрирование можно рассчитать наибольшие значения пульсаций скорости ротора электродвигателя на малых скоростях для стационарного режима питания от АИН-ШИМ

$$\Delta\omega \leq \frac{\Delta M L_{\sigma} \sqrt{2I_1 \Delta I_n}}{4J U_{s(m)}(0)} = \frac{\beta L_{\sigma}^2 I_n \sqrt{2I_1 \Delta I_n}}{4J R_r (1 + \beta^2 T^2) U_{s(m)}(0)}. \quad (8)$$

Исследования показывают, что при размахе пульсации электромагнитного момента $\Delta M \leq 0,1$, то есть у асинхронного двигателя 4AM90L4 мощностью 2,2 кВт в диапазоне модуляционных частот $f_n > 1,5$ кГц, численные значения пульсаций скорости $\Delta\omega$ составляют менее $0,24 \cdot 10^{-3}$, то есть при однозонном регулировании скорости в диапазоне 1:0,001 измене-

ния относительных значений скорости $\Delta\omega/\omega^*$ размах колебаний скорости составляет около 25%, что свидетельствует о неравномерности движения ротора, вызванной воздействием модуляционной составляющей электромагнитного момента, создающейся из-за несинусоидальной формы выходных токов преобразователя частоты с ШИМ. Неравномерность вращения ротора, зависящую от пульсации электромагнитного момента $M(t)$ и суммы длительностей $\tau_{n-1} + \tau_n$ соседних межкоммутационных интервалов между переключениями силовых ключей в преобразователе, необходимо учитывать при работе машины на низких скоростях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электромеханические и тепловые режимы асинхронных двигателей в системе частотного управления / Р.Т. Шрейнер, А.В. Костылев, В.К. Кривовяз, С.И. Шилин. -Екатеринбург: ГОУ ВПО Рос. гос. проф.-пед. ун-т, 2008. -361 с.
- 2 Соколовский, Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский. -М.: Академия, 2006. -264 с.
- 3 Чиликин, М.Г. Теория автоматизированного электропривода / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. -М.: Энергия, 1979. -616 с.
- 4 Волков, А.В. Анализ стационарных режимов асинхронного двигателя при питании от автономного инвертора с широтно-импульсным способом регулирования выходного напряжения / А.В. Волков // Техн. электродинамика. -1998. -№6. -С. 42-47.
- 5 Теория автоматического управления / Л.С. Гольдфарб [и др.]. -М.: Высш. шк., 1968. -424 с.
- 6 Шрейнер, Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты / Р.Т. Шрейнер. -Екатеринбург: УРО РАН, 2000. -654 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный электропривод, энергосбережение, частотное управление
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Кузнецов Андрей Юрьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГАУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630039, г.Новосибирск, ул.Добролюбова, 160, ФГБОУ ВПО «НГАУ»

ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

В.В. Харламов, П.К. Шкодун, А.В. Долгова

EVALUATION ELECTROMECHANICAL WEAR OF A TRACTION MOTOR COMMUTATOR SURFACE
 Omsk state transport university
 V.V. Kharlamov, P.K. Shkodun, A.V. Dolgova

This article is devoted to actual issue to evaluation electromechanical wear of a traction motor commutator. The result from research some regression equations to evaluation electromechanical wear of a traction motor commutator.

Keywords: traction motor, electromechanical wear, experiment, rotatable planning

Рассмотрена актуальная проблема оценки электромеханического износа рабочей поверхности коллектора тяговых электродвигателей подвижного состава. По результатам проведенных экспериментальных исследований получены уравнения регрессии для оценки электромеханического износа рабочей поверхности коллектора ТЭД.

Измерение износа рабочей поверхности коллектора тяговых электрических двигателей (ТЭД), как правило, связано с их разборкой. Учитывая особенности проведения экспериментальных исследований изнашивания, в рассматриваемом нами случае не все существующие методы могут быть приемлемыми и технически реализуемыми [1]. На сегодняшний день актуальной остается задача создания методики комплексного определения износа коллектора ТЭД, с применением известных методов.

Для изнашивания коллектора ТЭД на базе лаборатории ОмГУПСа создана экспериментальная установка, состоящая из двух модельных машин постоянного тока ПЗ1М, включенных по схеме взаимной нагрузки. Параметры модельных машин определены с использованием теории подобия и размерностей из расчета идентичности электромеханического изнашивания в ТЭД и модельной машине [2].

При контроле состояния коллектора особое внимание следует уделять электромеханическому износу с учетом электродугового искрения. Известно, что электроэрозионному износу в значительной степени подвергаются пластины, присоединенные к последним секциям обмотки якоря в пазу. Внешний вид коллектора после 670 минут работы представлен на рисунке 1. Аппроксимируем кривые, ограничивающие фигуры электромеханического износа коллекторной пластины с учетом электродугового искрения кубическим сплайном вида:

$$S_3(x) = \begin{cases} P_1(x), & x \in [x_0, x_1]; \\ P_2(x), & x \in [x_1, x_2]; \\ \dots; \\ P_n(x), & x \in [x_{n-1}, x_n]; \end{cases} \quad (1)$$

$$P(x) = a_i + b_i(x - x_{i-1}) + c_i(x - x_{i-1})^2 + d_i(x - x_{i-1})^3, \quad (2)$$

где $x_{i-1} \leq x \leq x_i$; $i = 1, 2, \dots, n$.

Достоинством выбранного способа интерполяции является отсутствие существенного отличия значений интерполяционного многочлена от значений интерполируемой функции между узловыми точками [3].

Результаты аппроксимации приведем на рисунке 2.

Получив функциональную зависимость кривой изменения интенсивности электромеханического износа коллекторной пластины с учетом электродугового искрения, найдем площадь поверхности под ней (таблица 1).

Таким образом, из результатов вычислений видно, что площадь пластины, подвергшейся электромеханическому износу с учетом электродугового искрения при уровне искрения 1,5 балла, не превышает 40% от площади контакта щетки с коллекторной пластиной.

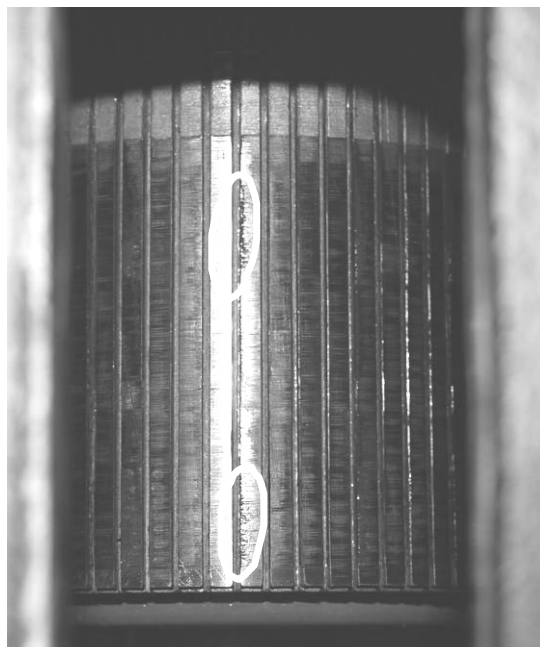


Рисунок 1 – Внешний вид коллектора модельной машины постоянного тока после 670 минут работы при интенсивности искрения 1,5 балла

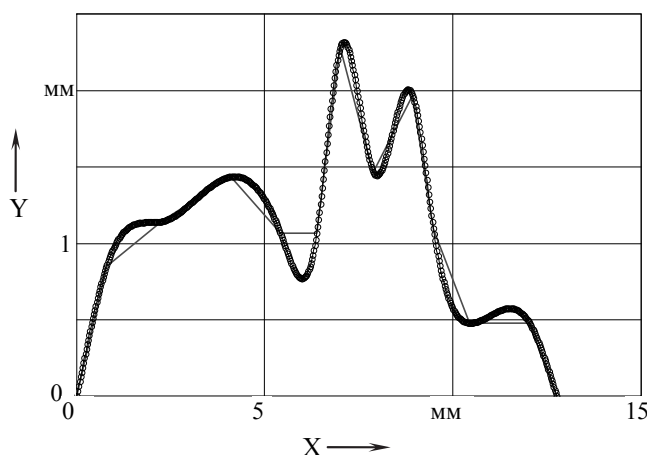


Рисунок 2 – Аппроксимация кривой изменения интенсивности электромеханического износа вдоль коллекторной пластины по следу одной щетки кубическим сплайном, при уровне искрения 1,5

Таблица 1 – Результаты вычислений площади кривой изменения интенсивности электромеханического износа с учетом электродугового искрения при интенсивности искрения 1,5 балла

| | Ширина пластины, мм | Площадь электроэрозионного износа, мм ² | Площадь зоны контакта, мм ² | Отношение площадей, % |
|--------|---------------------|--|--|-----------------------|
| След 1 | 3,00 | 11,87 | 34,93 | 34 |
| След 2 | 3,00 | 10,2 | 34,0 | 30 |
| След 3 | 3,00 | 12,46 | 37,77 | 33 |

Для сравнения площадь электромеханического износа с учетом электродугового искрения при уровне искрения 1,25 балла, не превышает 25% от площади контакта щетки с коллекторной пластиной. Площадь фигуры изменения интенсивности электромеханического износа с учетом электродугового искрения возможно использовать в качестве критерия для оценки состояния коллектора. Для определения зависимости электромеханического износа с учетом электродугового искрения от режимов эксплуатации в лабораторных условиях, используя основные положения теории планирования эксперимента, проведены экспериментальные исследования износа коллектора модельной машины П31М [3].

Известно, что функцию отклика в области оптимума [3], как правило, удается аппроксимировать полиномом второй степени вида

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq i < j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{1 \leq i \leq k} b_{ii} x_i^2 . \quad (3)$$

Для «ядра», содержащего полный факторный эксперимент 2⁵, величина звездного плеча α составит 2,378 [4]. Выбранное планирование удовлетворяет требованию равномерности.

На основе анализа уравнения электромеханического износа щетки Р. Хольма были выделены основные факторы, оказывающие наибольшее влияние на величину электромеханического износа коллектора [5] с учетом электродугового искрения и определены уровни и интервалы варьирования выбранных факторов (таблица 2).

Таблица 2 – Уровни и интервалы варьирования факторов

| Название параметр, единица измерения | Кодовое обозначение | Натуральные значения уровней факторов, соответствующие кодированным | | | | |
|---------------------------------------|---------------------|---|-------|-------|-------|--------|
| | | +2,378 | +1 | 0 | -1 | -2,378 |
| Ток якоря, А | x_1 | 32,9 | 25,42 | 20 | 14,58 | 7,11 |
| Площадь щетки, мм ² | x_2 | 395 | 310 | 248 | 186 | 100 |
| Уровень искрения, баллы* | x_3 | 2 ¼ | 1 ¾ | 1 ½ | 1 ¼ | 1 |
| Частота вращения, об/мин | x_4 | 3013 | 2600 | 2300 | 2000 | 1587 |
| Давление на щетку, кг/см ² | x_5 | 0,280 | 0,260 | 0,245 | 0,230 | 0,210 |

*-ГОСТ 183-78

Согласно матрице ротатабельного равномерного планирования, в качестве функции отклика принята площадь под кривой изменения интенсивности электромеханического износа коллектора с учетом электродугового искрения. Для наибольшей достоверности результатов опыта осуществляли в произвольном порядке [5]. Перед каждым опытом коллектор шлифовался до устранения следов электромеханического износа.

Исходное уравнения функции отклика запишем следующим образом

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_4 x_4 + b_5 x_5 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{14} x_1 x_4 + b_{15} x_1 x_5 + b_{23} x_2 x_3 + b_{24} x_2 x_4 + b_{25} x_2 x_5 + b_{34} x_3 x_4 + b_{35} x_3 x_5 + b_{45} x_4 x_5 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2 + b_{44} x_4^2 + b_{55} x_5^2 . \quad (4)$$

Вычислим коэффициенты регрессии, используя метод наименьших квадратов (таблица 3).

Таблица 3 – Результаты расчетов коэффициентов уравнения регрессии

| | | | | | | | | | | | | | |
|-------|------|-------|------|----------|------|----------|-------|----------|-------|----------|------|----------|------|
| b_0 | 9,67 | b_3 | 2,35 | b_{12} | 0,02 | b_{15} | -0,01 | b_{25} | -0,16 | b_{45} | 0,43 | b_{33} | 1,04 |
| b_1 | 1,20 | b_4 | 1,49 | b_{13} | 0,03 | b_{23} | 0,24 | b_{34} | -0,40 | b_{11} | 1,05 | b_{44} | 0,69 |
| b_2 | 1,48 | b_5 | 1,21 | b_{14} | 0,46 | b_{24} | 0,17 | b_{35} | -0,52 | b_{22} | 0,84 | b_{55} | 0,16 |

Для определения значимости коэффициентов уравнения регрессии определялись до-

верительные интервалы и рассчитывались t -критерии Стьюдента [4]. При уровне значимости $\alpha = 0,05$ значение табличное значение t -критерия Стьюдента составило 2,074. В случае, если $t_p > t_t$, коэффициент считался значимым.

Запишем полученное уравнение регрессии электромеханического износа коллектора с учетом электродугового искрения

$$S = 9,67 + 1,2x_1 + 1,48x_2 + 2,35x_3 + 1,49x_4 + 1,21x_5 + 1,05x_1^2 + 1,04x_3^2. \quad (5)$$

Проверка адекватности полученной модели осуществлялась при помощи критерия Фишера [6]

$$F_p = s_{\text{до}}^2 / s_y^2. \quad (6)$$

Известно, что F -критерий Фишера используется для проверки гипотезы $\sigma_x = \sigma_y$ при условии, что X и Y распределены нормально. Степень соответствия между гипотезой о нормальном распределении относительных высот ламелей и статистическими данными устанавливалась с помощью критерия согласия χ^2 [6].

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{M_i^2}{np_i} - n. \quad (7)$$

При уровне значимости $\alpha = 0,05$ и числе степеней свободы $k = 7$ критическое значение критерия Пирсона составило $\chi_{\text{крит}}^2 = 14,1$. Поскольку значение $\chi^2 = 6,1$ меньше критического, то гипотеза о нормальном законе распределения значений площади фигур изменения интенсивности износа коллектора принимается.

Вычисленное значение критерия Фишера $F_p < F_T$, при уровне значимости $\alpha = 0,05$ табличное значение критерия Фишера $F_T = 2,83$, расчетное – $F_T = 0,63$, следовательно, гипотеза об адекватности модели принимается.

Кодированные значения связаны с натуральными

$$x_i = \frac{\tilde{x}_i - \tilde{x}_i^0}{\varepsilon_i}; \quad (8)$$

где \tilde{x}_i – натуральное значение i -го фактора;

\tilde{x}_i^0 – натуральное значение основного уровня i -го фактора,

ε_i – интервал варьирования i -го фактора.

Переходя от кодированных значений факторов к натуральным, получена регрессионная модель электромеханического износа коллектора модельной машины ПЗ1М с учетом электродугового искрения:

$$S = 9,67 - 1,21 \cdot I_a + 0,02 \cdot S_{\text{щ}} - 40,77 \cdot A + 4,98 \cdot 10^{-3} n + 80,71 \cdot p_{\text{щ}} + 0,04 \cdot I_a^2 + 16,72 \cdot A^2. \quad (9)$$

Применительно к ТЛ-2К1 полученную регрессионную модель возможно использовать с учетом критериев подобия [2]

$$S_{\text{эп}} = 9,67 - 0,08 \cdot I_a + 0,002 \cdot S_{\text{щ}} - 33,47 \cdot A + 0,18 \cdot n + 43,58 \cdot p_{\text{щ}} + 1,66 \cdot 10^{-4} I_a^2 + 11,26 \cdot A^2. \quad (10)$$

Полученная регрессионная модель износа коллектора в натуральных значениях позволяет оценивать величину износа коллектора ТЭД ТЛ-2К1, следовательно, оптимизировать технологический процесс ремонта якоря, сборки и испытаний ТЭД.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Методы испытания на трение и износ: справ. изд. / Л.И. Куксенова, В.Г. Лаптева, А.Г. Колмаков, Л.М. Рыбакова. -М.: Интермет Инжиниринг, 2001. -152 с.
- 2 Харламов, В.В. Применение теории подобия при моделировании износа коллекторно-щеточного узла тягового электродвигателя / В.В. Харламов, П.К. Шкодун, А.В. Долгова // Изв. Транссиба. -2011. -№4(8). -С. 57-62.
- 3 Пирумов, У.Г. Численные методы: учеб. пособие для студентов вузов / У.Г. Пирумов. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Дрофа, 2003. -224 с.: ил.
- 4 Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий / Ю.П. Адлер, Е.В. Маркова, Ю.В. Грановский. -М.: Наука, 1976. -280 с.
- 5 Хольм, Р. Электрические контакты / Р. Хольм. -М.: Иностран. лит., 1961. -464 с.
- 6 Бронштейн, И.Н. Справочник по математике для инженеров и учащихся вузов / И.Н. Бронштейн, К.А. Семендяев. -М.: Наука, 1980. -976 с.: ил.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: тяговый электродвигатель, электромеханический износ, эксперимент, ротатбельное планирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Харламов Виктор Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Шкодун Павел Константинович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Долгова Анна Владимировна, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВЗОВ ВЛ11 НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПАРЕТО И ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

А.П. Буйносов, Я.А. Мишин

RELIABILITY ANALYSIS OF NODES OF ELECTRIC LO-COMOTIVES OF VL11 ON THE BASIS OF PARETO PRINCIPLE AND THE CHART ISIKAVA

Ural state university of railway transport

A.P. Buinosov, Ya.A. Mishin

On the basis of Pareto principle and Isikava's chart reliability analysis of nodes of electric locomotives of VL11 for the purpose of detection of cause-effect factors, obtaining qualitative and quantitative characteristics is made.

Keywords: electric locomotive, node, reliability, Pareto principle, Isikava's chart, analysis, failure, reasons

На основе принципа Парето и диаграммы Исикавы выполнен анализ надежности узлов электровазов ВЛ11 с целью выявления причинно-следственных факторов, получения качественных и количественных характеристик.

В последние годы с целью повышения эффективности функционирования отрасли разработана программа «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации», в результате которой производится модернизация локомотивов и ремонтные комплексы.

Это позволило в силовых передачах и управляющих устройствах локомотивов применить электронные системы автоматики, а в конструкции – новые высокопрочные материалы и технологии [1-3].

В ремонтном комплексе внедряются диагностирующие и испытательные стенды, старое ремонтное оборудование заменяется автоматизированным и механизированным, а при решении эксплуатационных задач используется электронно-вычислительная техника [4, 5].

Не смотря на совершенствование узлов и деталей локомотивов, оборудования и технологии для их ремонта, надежность электровазов уменьшились [6]. Даже внедрение в компании ОАО «РЖД» технологий бережливого производства не позволило пока добиться существенного результата.

Поэтому для повышения надежности электровазов необходимо постоянно проводить анализ мониторинга выхода из строя узлов и деталей, с целью усиления контроля за ненадежно работающими узлами при производстве текущих ремонтов и технических обслуживания электровазов с разработкой способов повышения их надежности.

Неисправности электроваза, вызывающие его остановку, приводят к большим экономическим убыткам [7]. В связи с этим возникла необходимость выявить узлы для «первоочередной доработки».

На основе собранной достоверной статистической информации о надежности электровазов ВЛ11 в ремонтных локомотивных депо Свердловской дирекции по ремонту тягового подвижного состава структурного подразделения Дирекции по ремонту тягового подвижного состава – филиала ОАО «РЖД» выявлено, что в 2012 г. было допущено 278 отказов (событий), связанных с нарушением безопасности движения поездов и эксплуатации железнодорожного транспорта, что на 39% больше, чем в 2011 г. (200 событий).

После обработки полученных данных установлено, что в 2011 г. произошло 94 отказа по причине неисправностей в узлах электровазов ВЛ11, а в 2012 г. в узлах этих же электровазов произошло 125 отказов. Выполненный анализ позволил выявить узлы с наибольшей частотой возникновения отказов и имеющих выраженную вариабельность (виды дефектов и их причины) (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что в 2011 г. наибольшее количество отказов приходится на тяговые электродвигатели (27 случаев) и механическое оборудование (20 случаев), а в 2012 г. – 33 и 29 случая, соответственно, что в сумме в 2011 г. составляет 50%, а в 2012 г. – уже более 50% от общего количества отказов.

В настоящее время для качественной оценки технического состояния узлов и агрегатов локомотивов применяется анализ Парето. Принцип Парето, или анализ Парето формулируется так: 20% усилий дают 80% результата, а остальные 80% усилий – лишь 20% результа-

та. Иначе говоря, правильно выбрав самые важные факторы (причины или действия), можно быстро получить значительную часть от планируемого полного результата, при этом дальнейшие улучшения неэффективны и могут быть неоправданны. Принцип Парето может использоваться как базовая установка в анализе факторов эффективности какой-либо деятельности и оптимизации ее результатов.

Таблица 1 – Распределение количества отказов по узлам электровозов ВЛ11

| Наименование узла | Количество отказов | |
|---|--------------------|---------|
| | 2011 г. | 2012 г. |
| Тяговые электродвигатели | 27 | 33 |
| Вспомогательное оборудование | 9 | 12 |
| Электронное оборудование | 11 | 13 |
| Механическое оборудование | 20 | 29 |
| Приборы безопасности | 8 | 12 |
| Кузовное оборудование | 6 | 7 |
| Автотормозное и пневматическое оборудование | 10 | 14 |
| Прочие неисправности | 3 | 5 |
| Всего | 94 | 125 |

Диаграмма Парето – графическое отражение принципа Парето, кумулятивной зависимости распределения дефектов узлов электровозов, инструмент анализа, показывающий в убывающем порядке «вклад» отдельного фактора. Диаграмма Парето позволяет выявить и отобразить первоочередные проблемы и распределить усилия с целью их эффективного решения; установить основные факторы, с которых нужно начинать действовать.

Для построения диаграммы Парето на основе данных о дефектах в узлах электровозов ВЛ11 в 2012 г. на первом этапе, исходя из таблицы 1, производим классификацию дефектов и определяем их количество в отказавших узлах (таблица 2).

Таблица 2 – Классификация дефектов узлов электровозов ВЛ11 в 2012 г.

| Дефекты узлов | Количество дефектов | Накопленная сумма количества дефектов | Процент числа дефектов от общего количества дефектов | Накопленный процент |
|--|---------------------|---------------------------------------|--|---------------------|
| Повреждение роликов подшипника | 38 | 38 | 34 | 34 |
| Шум редуктора | 27 | 65 | 24 | 58 |
| Повреждение внутренних и наружных колец подшипника | 13 | 78 | 12 | 70 |
| Повреждение моторно-осевого подшипника | 11 | 89 | 10 | 79 |
| Повреждение малой шестерни | 8 | 97 | 7 | 87 |
| Повреждение большого зубчатого колеса | 7 | 104 | 6 | 93 |
| Наличие металла в редукторе | 5 | 109 | 4 | 97 |
| Повреждение корпуса редуктора | 3 | 112 | 3 | 100 |
| Итого: | 112 | – | 100 | – |

Для построения диаграммы Парето на оси абсцисс обозначаем название дефектов, а на оси ординат – количество дефектов. Далее на уровне 80% проводим горизонтальную линию до пересечения с кумулятивной кривой и из точки пересечения опускаем перпендикуляр на горизонтальную ось. В итоге получаем две области дефекты, которые расположены слева от перпендикуляра являются значимым, а справа не значимые (рисунок 1).

Из построенной диаграммы Парето видно, что в области риска оказались такие дефекты как: повреждение роликов подшипника, шум редуктора, повреждение внутренних и наружных колец подшипников, повреждение моторно-осевого подшипника (49,6%). Такое положение обусловлено причинами, выявить которые для дальнейшего изучения и нивелирования можно при помощи других инструментов качества.

При установлении причинно-следственных связей между объектом анализа и влияющими на него факторами используется диаграмма Исикавы [8, 9]. Диаграмма на рисунке 2 построена при использовании дефектов, которые оказались в область риска (см. рисунок 1).

Анализируя построенную причинно-следственную диаграмму (рисунок 2) можно сделать вывод, что наибольшее возникновение отказов происходит из-за повреждения роликов подшипников. Этот факт подтверждается количеством дефектов – 38, по сравнению с остальными видами дефектов: шум редуктора – 27, повреждение внутренних и наружных колец подшипников – 13, повреждение моторно-осевого подшипника – 11. Истинными причинами возникновения дефектов стали: трещины и изломы роликов, рифление и износ поверхности роликов, монтажные задиры и электроожоги на поверхностях роликов.

Проведенный анализ свидетельствует о том, что лимитирующим узлом в конструкции электровозов являются буксовый, моторно-осевой и моторно-якорный подшипники [10].

Таким образом, с целью поддержания электровозов в работоспособном состоянии и обеспечения безопасности движения требуется разработка технических мероприятий направленных на повышение надежности подшипников [11].

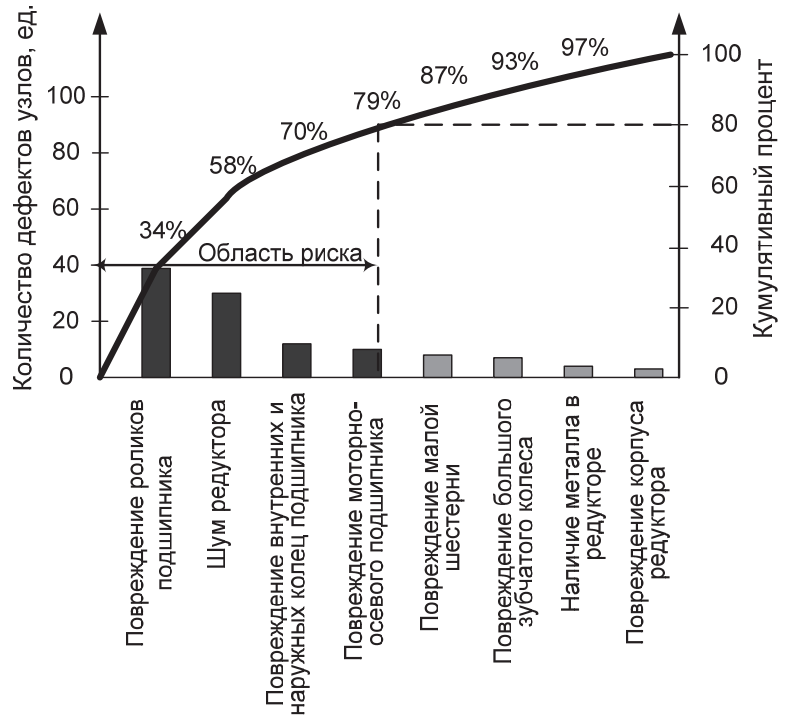


Рисунок 1 – Диаграмма Парето по видам дефектов узлов электровозов ВЛ10 и ВЛ11



Рисунок 2 – Диаграмма Исикавы для дефектов, оказавшихся в области риска

Для этого необходимо:

– исследовать причины возникновения трещин и изломов в роликах, рифлений, износа и электроожогов их поверхности [12];

- разработать эффективные меры для повышения долговечности роликовых подшипников [13];
- устранить монтажные задиры при техническом обслуживании и ремонте электровозов [14].

На основе проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1 Практическое применение принципа Парето и диаграмм Исикавы для проведения анализа надежности узлов электровозов позволяет выявить причинно-следственные связи между дефектами и причинами отказов, получать их качественные и количественные характеристики.

2 На основании результатов сравнения ступенчатой функции диаграммы Парето, определяющей эмпирическую плотность вероятности, с законами распределения можно определить способы для повышения надежности лимитирующего узла в конструкции электровозов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Балдин, В.Л. Повышение долговечности колесных пар за счет упрочнения гребней бандажей локомотивов / В.Л. Балдин, А.П. Буйносов, В.А. Тихонов // Вестн. трансп. Поволжья. -2011. -№5. -С. 57-60.
- 2 Буйносов, А.П. Наплавка гребней бандажей промышленных электровозов без выкатки колесных пар / А.П. Буйносов // Вестн. трансп. Поволжья. -2012. -№4. -С. 3-11.
- 3 Буйносов, А.П. Влияние применения триботехнического состава НИОД на ресурс колесных пар электроподвижного состава / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, В.А. Тихонов // Вестн. трансп. Поволжья. -2011. -№1. -С. 30а-35.
- 4 Буйносов, А.П. Ремонт локомотивов без прекращения их эксплуатации / А.П. Буйносов, И.М. Пышный, В.А. Тихонов // Вестн. Иркут. гос. техн. ун-та. -2012. -Т.60, -№1. -С. 85-91.
- 5 Буйносов, А.П. Основные причины интенсивного износа бандажей колесных пар подвижного состава и методы их устранения / А.П. Буйносов. -Екатеринбург: УрГУПС, 2009. -224 с.
- 6 Буйносов, А.П. Измерительная система для контроля диаметра бандажей колесных пар электровозов на основе разработанного электронного прибора / А.П. Буйносов, А.М. Кислицын // Науч. обозрение. -2012. -№4. -С. 179-187.
- 7 Буйносов, А.П. Новый смазывающий состав повышает надежность / А.П. Буйносов, В.С. Наговицын // Локомотив. -1998. -№7. -С. 36.
- 8 Исикава, К. Японские методы управления качеством / К. Исикава. -М.: Экономика, 1988. -216 с.
- 9 СТО 1.05.515.3-2009. Методы и инструменты улучшений. Диаграмма Исикавы: утв. распоряжением ОАО «РЖД» 02.06.2009 г. №1150р.
- 10 Повышение надежности роликовых подшипников тяговых двигателей электровозов постоянного тока / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Е.А. Гузенкова, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№1. -С. 117-120.
- 11 Разработка способа предупреждения монтажных задиров якорных подшипников тяговых электродвигателей электровозов / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№1. -С. 121-124.
- 12 Буйносов, А.П. Повышение надежности тяговых редукторов электровозов / А.П. Буйносов, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2012. -№3. -С. 85-89.
- 13 Буйносов, А.П. Повышение долговечности опорных цилиндрических роликовых подшипников тягового привода пассажирского электровоза / А.П. Буйносов, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2012. -№6. -С. 151-154.
- 14 Исследование причин повреждения подшипников тяговых двигателей электровозов / А.П. Буйносов, К.А. Стаценко, Е.В. Бган, Я.А. Мишин // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№1. -С. 113–116.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, узел, надежность, принцип Парето, диаграмма Исикавы, анализ, отказ, причины
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Буйносов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»
Мишин Ярослав Александрович, стажер ФГБОУ ВПО «УрГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.М. Левин

IDENTIFICATION METHOD OF A EMERGENCY FAULTS IN POWER TRANSFORMERS BY RESULTS OF DISSOLVED GAS ANALYSES
Novosibirsk state technical university
V.M. Levin

A statistical method of generation of criterions for authentic identification of faults in power transformers by results of dissolved gas analyses is proposed.

Keywords: power transformer, emergency fault, dissolved gas analyses, method of recognition, criterion of identification

Предложен статистический метод формирования критериев для достоверной идентификации дефектов в силовых трансформаторах по результатам газовой хроматографии.

Развитие дефекта в силовом трансформаторе (СТ) сопровождается повышением силы

его проявления (рост температуры, повышение влаго- и газосодержания в масле, пр.). Это фиксируется с помощью методов диагностирования по одному или нескольким параметрам. Дефекты, сила проявления которых настолько высока, что создает угрозу дальнейшей эксплуатации СТ, называют критическими.

Метод хроматографического анализа растворенных в масле газов (ХАРГ), в силу своей информативности применяется при вводе СТ в эксплуатацию, в межремонтный период и при выводе его в ремонт.

Существует достаточное количество методик интерпретации ХАРГ, используемых в разных странах (методика Дорненбурга, Роджерса, треугольника Дюваля, др.). Методика, используемая в РФ [1], позволяет прогнозировать наличие развивающегося дефекта, определять его характер и степень развития. Между тем ни одна из методик не обеспечивает высокой достоверности диагноза. Это ограничивает применение ХАРГ выявлением медленно развивающихся в СТ дефектов, продолжительность развития которых измеряется месяцами и годами. В тоже время многочисленные исследования [2-4] иллюстрируют широкие возможности статистических методов обработки информации и формирования критериев идентификации дефектов.

Таким образом, задачи достоверной идентификации дефектов в СТ на основе ХАРГ по-прежнему актуальны и требуют современных методов решения. В статье предложен метод формирования обобщенных критериев идентификации дефектов в СТ по результатам ХАРГ. Достоверность получаемых с их помощью оценок подтверждена многократным сравнением с результатами других методов, а также с данными эксплуатации представительного парка СТ.

Методы и результаты исследования. В основу решения задач идентификации дефектов в СТ положены методы теории статистической классификации и распознавания образов [5]. Пусть производится диагностирование состояния СТ по ХАРГ с измерением концентраций растворенных газов $A = \{A_i\}$, $(i = \overline{1, d})$, которые используются в качестве диагностических признаков. За период эксплуатации накоплена представительная выборка ХАРГ для однотипных СТ (N - мощность выборки). Задача заключается в том, чтобы по результатам диагностирования СТ принимать решение о наличии в нем дефекта и о возможности его дальнейшей эксплуатации. Контролируемый параметр A_i представляет собой случайную переменную, статистическое распределение которой может быть получено. Применяя предварительную классификацию множества A размерностью $N \times d$ по критерию граничных концентраций [1]: $A_i \leq A_{i\text{ep}}$ - «норма»; $A_i > A_{i\text{ep}}$ - «норма с отклонениями» можно сформировать дихотомию из классов состояний СТ, соответственно Π_1 и Π_2 . Построению простого решающего правила (классификатора) и обеспечению наилучших условий разделимости классов препятствует большая размерность пространства исходных признаков (как правило $d \geq 7$). Для преобразования многомерного пространства признаков A_i на числовую ось может быть использована дискриминантная функция вида:

$$G(A) = \sum_{i=1}^d w_i \frac{A_i}{A_{\text{эпи}}} + w_0, \quad (1)$$

где w_i – вес i -го газа в составе выделенной газовой смеси

$$w_i = \frac{A_i}{\sum_{i=1}^7 A_i};$$

w_0 – произвольный коэффициент, $w_0 \geq 0$.

Новый признак G также является случайной переменной, для которой находится статистическое распределение. Для случая нормально распределенного признака G его плотности вероятностей для состояний Π_1 и Π_2 показаны на рисунке 1.

Построение классификатора для случая одного признака сводится к выбору значения $G'_{\text{эп}}$ таким образом, чтобы при $G < G'_{\text{эп}}$ идентифицировалось состояние «норма», допускающее эксплуатацию СТ без ограничений, а при $G > G'_{\text{эп}}$ - состояние «норма с отклонением», требующее постановки СТ на учащенный контроль с повторным отбором проб масла на ХАРГ. Приведенные рассуждения не дают ответа на вопрос может ли область состояний Π_2 быть разделена на две части с выделением развивающихся дефектов СТ с низкой силой

проявления (малозначительных) и критических дефектов с высокой силой проявления. Иными словами корректно ли понятие границы G_{ep}'' раздела области состояний Π_2 и как ее построить? Возможность ответить на данный вопрос возникает при анализе методов построения классификатора.

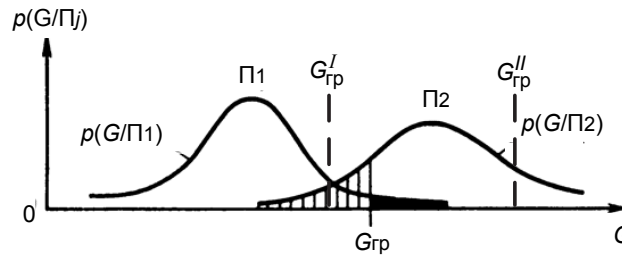


Рисунок 1 – Статистическое распределение плотностей вероятности диагностического признака G для состояний Π_1 и Π_2

Байесовский классификатор априори гарантирует оптимальное разделение классов, например, по критерию минимума суммарной ошибки идентификации. Наиболее предпочтительным является уравнение вида

$$L = -\ln p\left(\frac{G}{\Pi_1}\right) + \ln p\left(\frac{G}{\Pi_2}\right) = \ln \frac{P(\Pi_1)}{P(\Pi_2)}, \quad (2)$$

где $P(\Pi_j)$ – априорная вероятность принадлежности СТ к j -му классу состояний ($j = 1, 2$);

$p\left(\frac{G}{\Pi_j}\right)$ – условные плотности вероятностей признака;

$\frac{P(\Pi_1)}{P(\Pi_2)}$ – отношение правдоподобия.

Если статистическое распределение признака G подчинено нормальному закону, уравнение (2) преобразуется в квадратичную форму и имеет единственно верное аналитическое решение.

Упрощенный метод получения границы раздела классов состояний СТ с использованием числовых характеристик распределений признака G предложен в [4]. Суть метода заключается в описании граница раздела классов Π_1 и Π_2 выражением

$$G'_{ep} = M'_G + k\sigma'_G, \quad (3)$$

где M'_G, σ'_G – математическое ожидание и среднеквадратическое отклонение для распределения признака G в классе Π_1 ;

k – положительный коэффициент, пропорциональный асимметрии эмпирического распределения (определяется экспертным путем).

Как показали проведенные исследования, применение метода позволяет идентифицировать развивающиеся дефекты в СТ с достоверностью близкой к 97% [4]. Применение выражения (3) для области $\Pi_2 - G''_{ep} = M''_G + k\sigma''_G$ позволяет получить формальную границу ее раздела на две подобласти – «малозначительный» дефект и «критический» дефект СТ. Однако для формирования критерия кроме признака G необходимо дополнительно учитывать признак V_{omni} (% мес.) – относительную скорость концентрации i -го газа, так как критический дефект в СТ, как правило, характеризуется большими ее значениями $V_{omni} > 15\%$ мес.

Для проверки и практического подтверждения предложенного метода рассмотрим выборку из 1340 протоколов ХАРГ 98-ми силовых трансформаторов 110 кВ одной из сетевых компаний за период с 1995 по 2004 год. Построены эмпирические распределения признака G для классов Π_1 и Π_2 , определены их числовые характеристики (таблица). Далее по критерию χ^2 Пирсона проверена состоятельность гипотезы о принадлежности эмпирических распределений нормальному закону.

С учетом данных таблицы при $k = 2$ получены границы раздела классов состояний исследуемой группы СТ: $G'_{ep} = 0,66$ и $G''_{ep} = 2,13$. Решение уравнения (2) близко к полученному

результату $G'_{ep} = 0,659$, что подтверждает адекватность упрощенной модели. Ретроспектива ХАРГ исследуемой группы СТ содержит измерения, по которым критерий $A_i > A_{iap}$ идентифицирует наличие развивающегося дефекта. Постановка этих СТ на учащенный контроль с выполнением повторного ХАРГ не подтверждает полученную ранее оценку. Во всех подобных случаях критерий $G > G'_{ep}$ уверенно прогнозирует отсутствие дефекта сразу по результатам первого анализа [4].

Таблица – Оценки числовых характеристик классов состояний СТ

| Числовые характеристики признака G | Классы | |
|---|---------|---------|
| | Π_1 | Π_2 |
| Математическое ожидание, M_G | 0,349 | 1,120 |
| Среднеквадратическое отклонение, σ_G | 0,155 | 0,504 |

Разделение области состояний Π_2 по обучающей выборке выполнялось с применением следующих правил:

- «если» $G \geq 2,13$ «и» $V_{омни} \geq 15\%$ мес., «то» «критический» дефект;
- «если» $G \geq 2,13$ «и» $V_{омни} < 15\%$ мес., «то» «малозначительный» дефект.

Предложенный критерий был опробован на тестовой выборке из 455 протоколов ХАРГ СТ исследуемой группы. Особый интерес представляли результаты ХАРГ, сопровождаемые протоколами вскрытия СТ. Так в ТРДН-25000/110 (1Т-Текстильная) обнаружен высокотемпературный ($>700^\circ\text{C}$) термический дефект с горячей точкой в сердечнике и предположительным повреждением твердой изоляции. Дефект развивался постепенно в течение нескольких лет, а на заключительном этапе перед выводом СТ в ремонт приобрел все признаки критического (высокую силу и скорость проявления). В течение 2003 г. ХАРГ выполнялся практически в режиме мониторинга, что позволило идентифицировать дефект в динамике с привлечением базовых методик. На рисунок 2 выборочно показаны результаты идентификации дефекта с помощью треугольника Дюваля и номограмм. Обе методики дают сопоставимые оценки: «Дефект термического характера в диапазоне высоких температур».

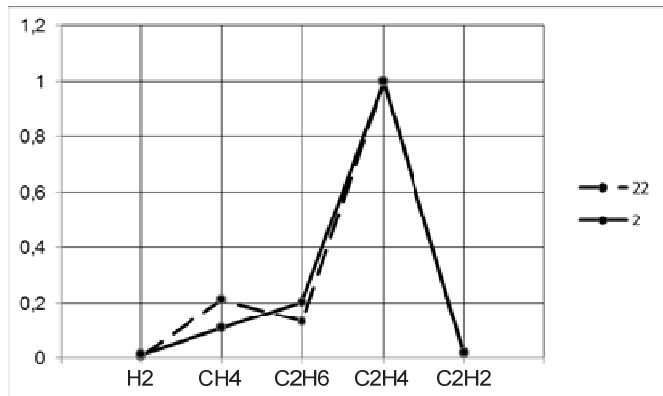
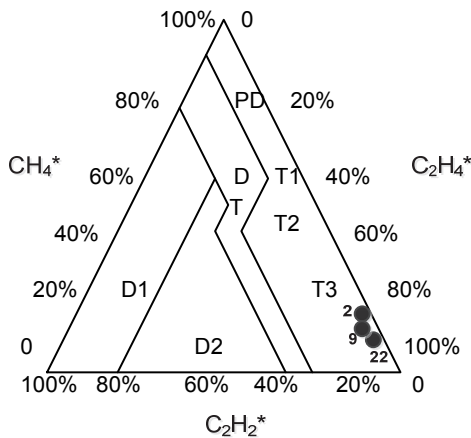


Рисунок 2 – Результаты идентификации дефекта в СТ по разным методикам: точки 2, 9, 22-номера измерений

На рисунке 3 представлена динамика изменения признака G с выборочным указанием номеров измерений. На рисунке 4 в координатах признаков G и $V_{омни}$ показаны результаты ХАРГ СТ за 2003 г., отнесенные к области состояний Π_2 «критический дефект». Протокол вскрытия СТ подтвердил наличие повреждений в сердечнике и расслоение целлюлозы.

Предложенный метод обладает рядом конкурентных преимуществ, каждое из которых способствует его эффективному применению для формирования критериев достоверной идентификации как развивающихся так и критических дефектов в СТ. К указанным преимуществам относится: возможность комплексного учета условий эксплуатации парка обследуемых СТ за счет привлечения представительной диагностической статистики; возможность повышения информационной ценности результатов диагностирования за счет извле-

чения дополнительных сведений о состоянии СТ; возможность обобщенного описания пространства признаков, за счет чего снижается его размерность, улучшается разделимость классов состояний СТ, упрощается процедура классификации и вид решающего правила, а также повышается чувствительность признака к изменениям концентраций газов, вызванным дефектами в СТ.

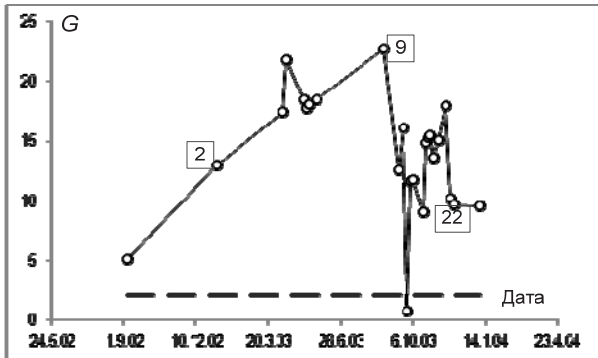


Рисунок 3 – Динамика изменения признака G с выборочным указанием номеров измерений для ХАРГ

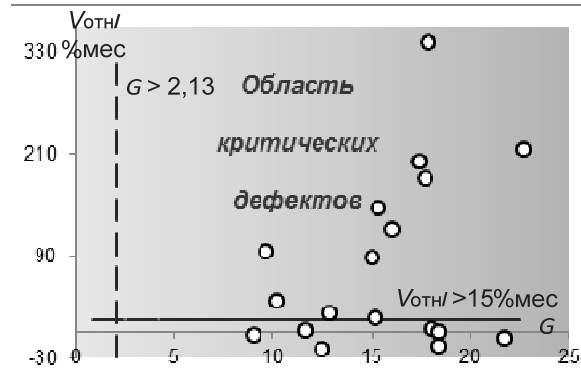


Рисунок 4 – Идентификация критического дефекта в 1Т-Текстильная по предложенному критерию

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 РД 153-34.0-46.302-00. Методические указания по диагностике развивающихся дефектов трансформаторного оборудования по результатам хроматографического анализа газов, растворенных в масле. -М.: НЦ ЭНАС, 2000. -25 с.
 2 Давиденко, И.В. Применение методов математической статистики для получения критериев оценки состояния силовых трансформаторов по результатам хроматографического анализа растворенных в масле газов / И.В. Давиденко, В.И. Комаров // ЭЛЕКТРО. Электротехника, электроэнергетика, электротехн. пром-сть. -2003. -№1. -С. 37-41.
 3 Mirowski, P. Statistical Machine Learning and Dissolved Gas Analysis: A Review [Electronic resource] / P. Mirowski, Y. LeCun // IEEE Transactions on Power Delivery. -2012. -P. 1-9. -Режим доступа: <http://www.mirowski.info>.
 4 Левин, В.М. Статистическая модель нормально работающего (бездефектного) трансформатора с учетом режимов его работы в электрической сети / В.М. Левин, О.В. Емельянов // Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. -СПб., 2005. -Вып. №28. -С. 242-249.
 5 Фукунага, К. Введение в статистическую теорию распознавания образов: пер. с англ. / К. Фукунага. -М.: Наука, 1979. - 368 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: силовой трансформатор, критический дефект, газовая хроматография, метод распознавания, критерий идентификации
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Левин Владимир Михайлович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

МЕТОДОЛОГИЯ SADT КАК СПОСОБ ОПИСАНИЯ СИСТЕМ ВИБРОЗАЩИТЫ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.В. Матвеева, В.Ю. Гросс, А.В. Жаров

THE METHODOLOGY OF THE SADT AS A WAY TO DESCRIBE THE SYSTEM OF VIBROPROTECTION
 Novosibirsk state academy of water transport
 K.V. Matveeva, V.Ju. Gross, A.V. Zharov

In article use of methodology of SADT IDEF0 for the description of control systems on the example of vibroprotective system of the rotor engine is considered. Scopes of this approach are described and offers on its use are formulated.

Keywords: vibroprotective system, methodology of the SADT, system analysis, the control system

Рассмотрено использование методологии SADT IDEF0 для описания систем управления на примере виброзащитной системы роторного двигателя. Описаны области применения данного подхода и сформулированы предложения по его использованию.

Одним из наиболее распространенных способов анализа различного рода систем, в том числе систем виброзащиты, является структурное моделирование. Структурное моделирование основывается на графическом представлении системы уравнений, описывающих отдельные элементы или блоки системы автоматического управления, и связей между этими уравнениями. В качестве элементарных звеньев структурной схемы могут выступать как от-

дельные функциональные блоки системы регулирования, например, задающее устройство, управляющее устройство, объект управления и т.п. (рисунок 1), так и элементарные функции, которые реализуются в этих блоках [1].

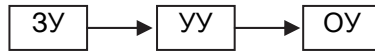


Рисунок 1 – Пример функциональной схемы системы управления

Структурная схема рассматриваемой системы, составленная на основе передаточных функций, будет, например, иметь вид, приведённый на рисунке 2.

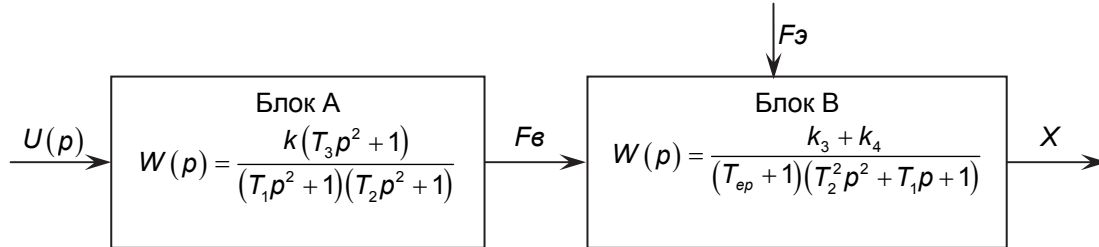


Рисунок 2 – Структурная схема виброзащитной системы

Моделируя структурную схему, можно определить свойства виброзащитной системы в целом и её отдельных элементов, подобрать параметры этих элементов, при которых система будет отвечать заданным требованиям, сделать выводы о необходимости коррекции и типе корректирующих звеньев.

Однако на начальной стадии проектирования использование структурных схем может оказаться затруднительным, поскольку структурные схемы предполагают, что структура виброзащитной системы заранее определена, известны взаимодействие всех элементов системы и математические уравнения, их описывающие. При проектировании новых систем, в которых предполагается использование нетрадиционных способов и устройств виброзащиты, метод структурного моделирования может оказаться полезным на стадии анализа свойств системы, а на стадии проектирования более эффективным может оказаться иной метод, не связанный с необходимостью задания структуры системы на начальной стадии.

Примером такого метода может являться системный анализ, применяемый при проектировании различного рода систем. В основе такого анализа лежит использование целого ряда специальных методологий: функционально-ориентированных, объектно-ориентированных и процессно-ориентированных.

Одной из таких методологий является функционально-ориентированная методология SADT (Structured Analysis and Design Technique), включающая в себя несколько идеологий, представляющих собой совокупность методов, правил и процедур, предназначенных для построения функциональной модели объекта какой-либо предметной области. Полученная функциональная модель отображает действия, происходящие внутри объекта, действия с самим объектом, а так же связи с другими элементами модели [2].

В данной методологии используется ряд стандартных идеологий структурного анализа, таких как IDEF0 (Icam DEfinition), IDEF3, DFD (Data Flow Diagrams) и других.

Рассмотрим подробнее стандарт IDEF0, в основе которого лежит выявление функциональных блоков, преобразующих входные данные в выходные. Сам процесс выявления тесно связан с декомпозицией каждого блока на отдельные модули. Таким образом, при переходе от более общего функционального блока к его модулям удастся достигнуть подробной детализации процесса функционирования любой рассматриваемой системы. Пример схемы функционального блока используемый в методологии IDEF0 приведен на рисунке 3.

Как инструмент проектирования, методология IDEF0 обладает рядом достоинств.

Во-первых, на начальных этапах проектирования систем управления очень важным является учет всех, как входных, так и выходных, данных. Воспользовавшись функционально-ориентированной методологией, можно еще на начальной стадии проектирования понять, какие элементы и данные должны подаваться на вход управляющей системы, а какие должны вычисляться на выходе. Кроме того, подробная функциональная модель, составленная с помощью предлагаемой методологии, позволяет выявить как нехватку, так и наличие лишних входных параметров, что значительно облегчает задачу проектирования.

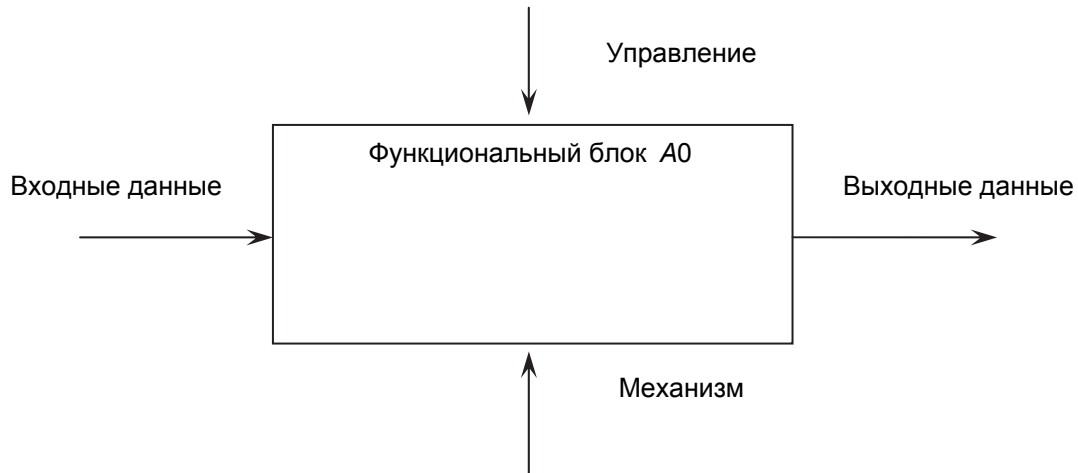


Рисунок 3 – Пример функционального блока методологии IDEF0

Во-вторых, в настоящее время разработка систем управления с использованием компьютерной техники становится все более и более распространенной, что требует разработки специальных алгоритмов, лежащих в основе функционирования системы.

Принцип декомпозиции, на котором строится методология IDEF0, как раз и является своего рода алгоритмом преобразования набора входных данных в выходные и, следовательно, при ее использовании, разработка компьютеризированной модели системы существенно упрощается.

Рассмотрим подход к описанию систем виброзащиты с использованием стандарта структурного анализа IDEF0.

Для построения виброзащитной системы необходимо на начальном этапе выявить входные и выходные переменные, механизмы и элементы управления. В соответствии с первым этапом, схема функционального блока A0 будет выглядеть следующим образом (рисунок 4).

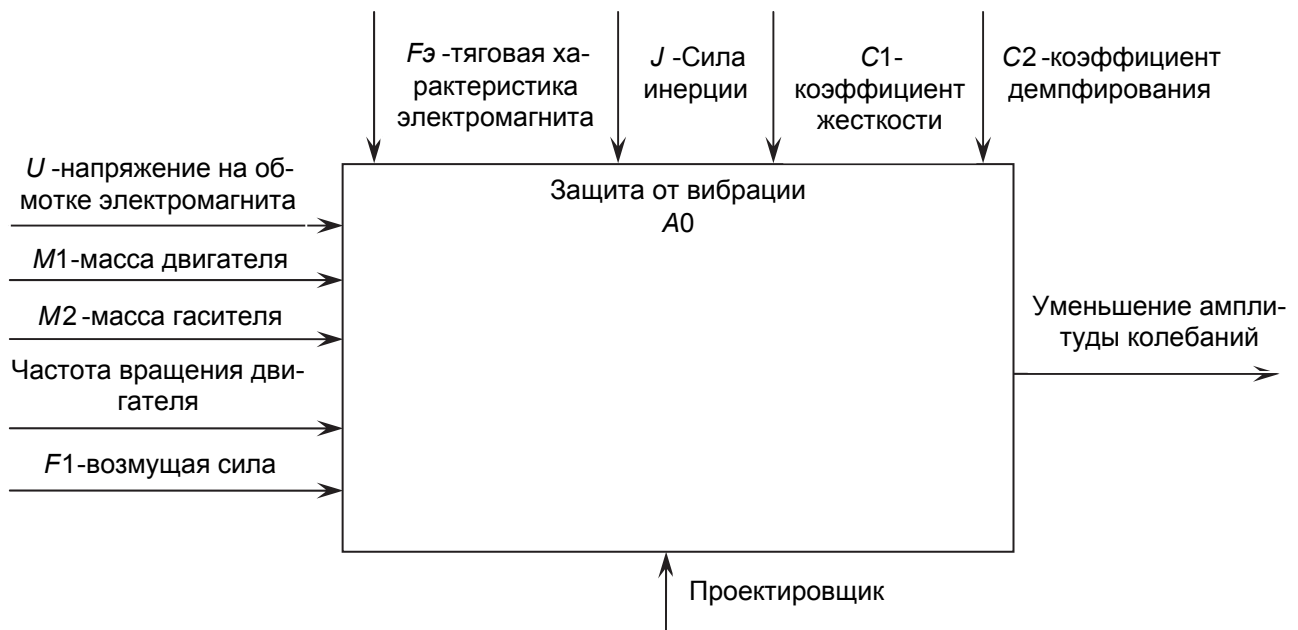


Рисунок 4 – Первый шаг структурного анализа виброзащитной системы

Следующим шагом, согласно методологии IDEF0, является декомпозиция блока A0 (рисунок 5), например на два модуля – A1 (роторный двигатель) и A2 (электромагнитный гаситель).

При последующих декомпозициях блоков A1 и A2 добавляются новые входные данные и элементы управления, обозначенные на рисунке 4. Разбивать функциональные блоки можно продолжать до тех пор, пока весь процесс, происходящий в виброзащитной системе, не будет детализирован.

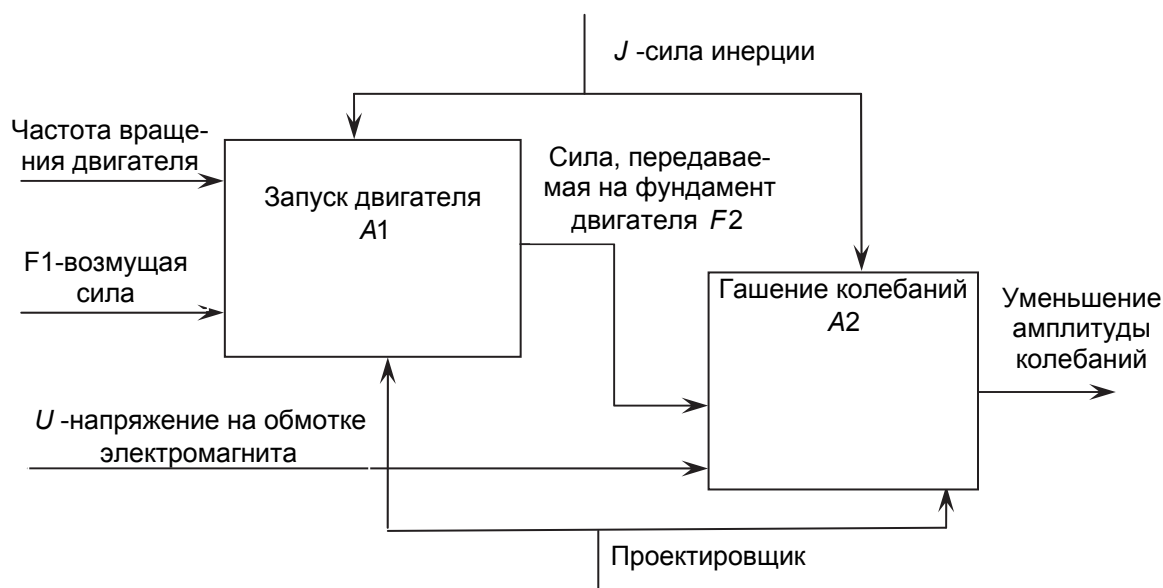


Рисунок 5 – Второй шаг проектирования виброзащитной системы на основе методологии IDEF0

Следовательно, описание системы управления с помощью стандарта IDEF0 значительно облегчает задачу построения структурной схемы проектируемой системы.

Еще одним преимуществом использования методологии SADT IDEF0 в описании систем управления является информативность в описании всех функциональных процессов, происходящие внутри системы.

Однако такой способ требует значительных временных затрат на разработку большого числа функциональных схем. Кроме того, метод применим только на начальной стадии проектирования, так как не позволяет осуществлять анализ свойств проектируемой системы и подбор параметров её элементов.

Принимая во внимание все перечисленные достоинства и недостатки методологии SADT, можно сделать следующие выводы:

1 Методология SADT IDEF0 может быть полезна на начальном этапе проектирования систем управления, так как позволяет выявить внешние и внутренние переменные, действующие в системе;

2 Использование стандарта IDEF0 дает возможность детально разобраться в функциональных процессах, происходящих в описываемой системе и проследить процесс преобразования входных данных в выходные;

3 На основе, полученной с помощью IDEF0 функциональной модели можно составить подробную структурную схему, необходимую для дальнейшего моделирования системы управления;

4 Описание систем с использованием функционально-ориентированной методологии дает возможность в дальнейшем реализовать модель управляющей системы на базе контроллеров, использующих в своей работе специальные алгоритмы.

Следовательно, методологию SADT целесообразно использовать для описания внутренней структуры и функциональных возможностей различных систем управления, что даст возможность детально разобраться во всех процессах происходящих внутри системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Андриевский, Б.Р. Избранные главы теории автоматического управления / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. -СПб.: Наука, 2000. -475 с.
- 2 Marka, D.A. Structured Analysis & Design Technique = Методология структурного анализа и проектирования SADT / D.A. Marka, К.Мс. Gowan. -N.Y., 1988. -284 с.
- 3 Матвеева, К.В. Разработка пакета моделирования виброзащитных систем судовых энергетических установок в среде Matlab / К.В. Матвеева. -СПб.: СПГУВК, 2012. -452 с.
- 4 Матвеева, К.В. Разработка модели виброгасящего устройства с электромагнитным регулятором жесткости. Ч.3 / К.В. Матвеева. -Новосибирск: Новосиб. гос. архитектур.-строит. ун-т, 2011. -120 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброзащитная система, методология SADT, системный анализ, система управления

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Матвеева Ксения Владимировна, аспирант ФБОУ ВПО «НГавТ»
Гросс Владимир Юлиусович, канд. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГавТ»
Жаров Алексей Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГавТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГавТ»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРЕДНАМЕРЕННОМ РАЗЗЕМЛЕНИИ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Дорожная электротехническая лаборатория Новосибирской дистанции электроснабжения Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры

Ю.В. Кондратьев, А.А. Кузнецов, В.А. Кващук, И.А. Кремлев

ENSURING ELECTRICAL SAFETY AT DELIBERATE UNGROUNDED OF SUPPORT OF THE CONTACT NETWORK ON SITES OF THE RAILROADS OF ALTERNATING CURRENT

Omsk state transport university

Road Novosibirsk electrotechnical laboratory distance power of the West Siberian infrastructure directorate

Yu.V. Kondratyev, A.A. Kuznetsov, V.A. Kvashchuk, I.A. Kremlev

The comparative analysis of conditions of electrical safety is carried out at service of support of the contact alternating current main at group grounding of support on a rail and at association of support to the groups which haven't been grounded on a rail.

Keywords: traction network, short circuit, relay protection, deliberate ungrounded of support, electrical safety

Проведен сравнительный анализ условий электробезопасности при обслуживании опор контактной сети переменного тока при групповом заземлении опор на рельс и при объединении опор в группы, не заземленные на рельс.

В тяговых сетях переменного тока все армируемые на опорах элементы, нормально не находящиеся под напряжением, в обязательном порядке заземляются на рельсы. Этим достигается требуемая чувствительность релейной защиты фидеров тяговых подстанций к токам короткого замыкания, а также обеспечение электробезопасности персонала, обслуживающего элементы тяговой сети. Однако заземление опор контактной сети на рельс нежелательно по ряду причин, основной из которых является нарушение симметрии рельсовых цепей автоблокировки, что при определенных условиях может оказывать влияние на безопасность и бесперебойность движения поездов. В связи с этим руководством хозяйств Электрификации и электроснабжения железных дорог РФ постоянно поднимался вопрос о необходимости преднамеренного отсоединения опор контактной сети переменного тока от рельсов.

В связи с этим всегда возникали две основных задачи, требующие решения:

– обеспечение чувствительности защиты при замыкании на разземленные опоры;

– обеспечение электробезопасности в условиях отсоединения заземляющих спусков от рельсов.

Ранее неоднократно проводились серьезные аналитические и экспериментальные исследования в части разработки защит, реагирующих на токи замыкания на разземленные опоры [1, 2]. Однако, в основном из-за слабой элементной базы и отсутствия микропроцессорной техники, положительные результаты этих исследований не получили развития в части организации длительной опытной эксплуатации.

В 2009 году в результате совместной работы ОмГУПС, ООО «НИИЭФА-Энерго» и Западно-Сибирской железной дороги впервые на сети железных дорог РФ на участке Карасук-Зубково в опытную эксплуатацию были введены серийно выпускаемые блоки микропроцессорной релейной защиты типа ЦЗАФ-27,5 кВ с реализованным в них алгоритмом защиты от замыканий на разземленные опоры, разработанным в ОмГУПС [3]. Экспериментальные исследования аварийных режимов подтвердили работоспособность данной защиты при нарушении цепи заземления опор, позволяющую исключить вероятность потери опорой несущей способности в случае нарушения изоляции. Три года положительной опытной эксплуатации блоков позволили пересмотреть традиционные взгляды на необходимость заземления элементов тяговой сети на рельс. Однако принятие решения о разземлении опор на всей межподстанционной зоне требует обоснования того, что в этом случае условия электробезопасности не ухудшатся по сравнению с традиционной системой заземления опор на рельс.

В общем случае в тяговой сети переменного тока возможны два основных способа падения высокого потенциала на элементы армировки опоры: замыкание контактной под-

вески на рельс (падение провода на рельс или замыкание на электроподвижном составе) и нарушение изоляции в верхнем поясе заземления опоры (перекрытие изоляции). Рассмотрим влияние режимов короткого замыкания на безопасность персонала при производстве работ на опорах, группы которых заземлены на рельс (традиционная система – вариант 1) и при объединении железобетонных опор в группы с использованием их арматуры в качестве заземлителей (без связи с рельсом – вариант 2).

Вариант 1. Общепринятая система группового заземления опор – на рельсовую сеть (далее «рельс»).

Работы по проверке состояния и ремонту группового заземления опор в этом случае выполняются с установкой переносных заземляющих штанг на трос группового заземления (ТГЗ).

Известно, что с большей вероятностью короткие замыкания происходят на рельсовую сеть. При этом виде КЗ происходит вынос высокого потенциала с рельса на ТГЗ, которого касается электромонтер $\varphi_{ТГЗ} = \varphi_{КЗ(Р)}$. Так как работник находится на опоре, потенциал которой близок к потенциалу удаленной земли φ_3 , он попадает под разность потенциалов U_{Π} между ТГЗ (рельсом) и опорой (рисунок 1).

При нарушении целостности изоляции контактной сети (КС) высокий потенциал фКЗ (КС) через спуск заземления попадает на ТГЗ, поэтому электромонтер также попадает под разность потенциалов U_{Π} между ТГЗ (КС) и опорой (рисунок 2), которая достигает нескольких тысяч киловольт.

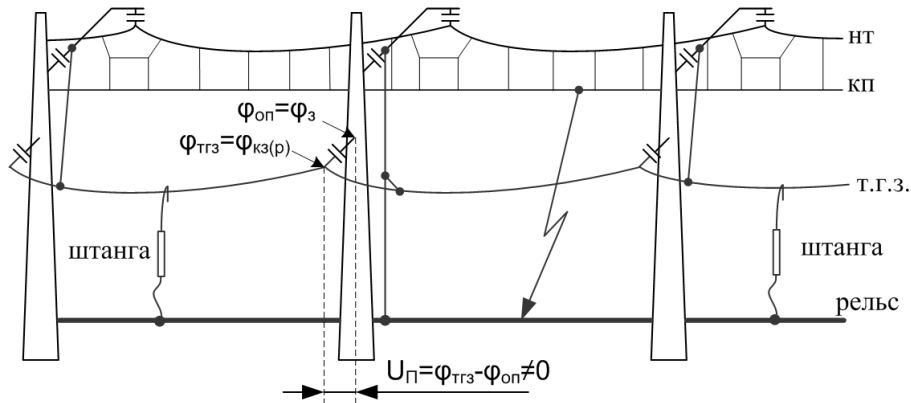


Рисунок 1 – Распределение потенциала при замыкании на рельс в традиционной системе заземления опор контактной сети

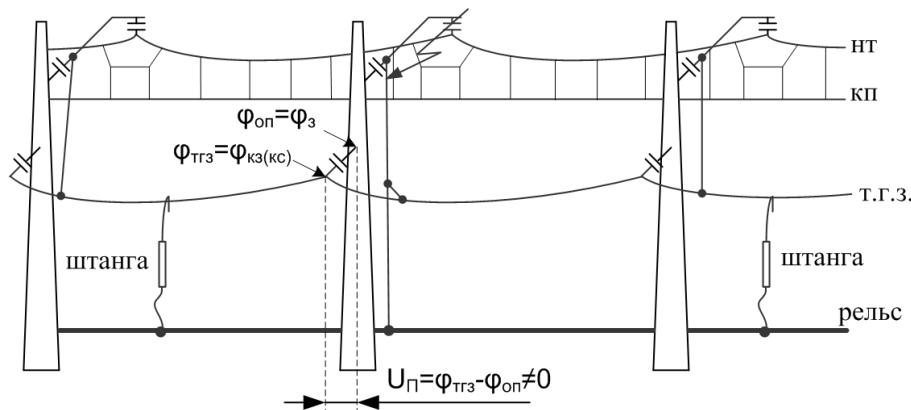


Рисунок 2 – Распределение потенциала при нарушении целостности изоляции КС в традиционной системе заземления опор контактной сети

Вариант 2. Групповое заземление опор с использованием арматуры железобетонных опор в качестве естественных заземлителей (опоры не имеют металлической связи с рельсом). При этом обязательным условием является наличие надежной гальванической связи между арматурой опоры и ТГЗ.

По условиям обеспечения нормального функционирования рельсовых цепей автобло-

кировки и электрической централизации работы по проверке состояния и ремонту группового заземления опор в этом случае рекомендуется выполнять без установки переносных заземляющих штанг на трос группового заземления.

В этой ситуации при КЗ на рельс выноса высокого потенциала на ТГЗ нет, так как отсутствует связь ТГЗ с рельсом (рисунок 3). Следовательно, не будет и разности потенциала между ТГЗ и телом опоры, на которой может оказаться обслуживающий персонал.

Аналогично, при замыкании в результате нарушения изоляции контактной сети также возрастает потенциал ТГЗ $\varphi_{ТГЗ} = \varphi_{КЗ(КС)}$, так как он оказывается связан с контактной сетью. Однако, из-за имеющейся металлической связи между ТГЗ и арматурой опор возрастает и потенциал опоры на которой находится электромонтер, то есть будет выполняться условие $\varphi_{оп} = \varphi_{ТГЗ} = \varphi_{КЗ(КС)}$ (рисунок 4). Очевидно, что и в этом случае персонал, обслуживающий элементы группового заземления, также не окажется под опасной разностью потенциалов.

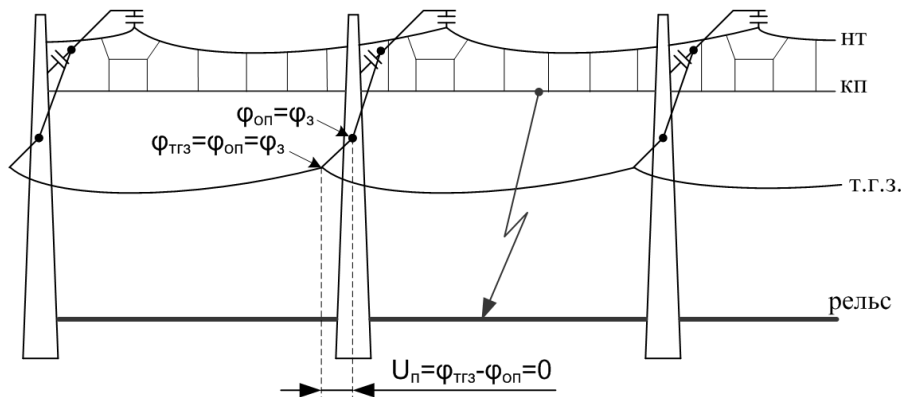


Рисунок 3 – Распределение потенциала при замыкании на рельс в системе без заземления опор контактной сети на рельсы

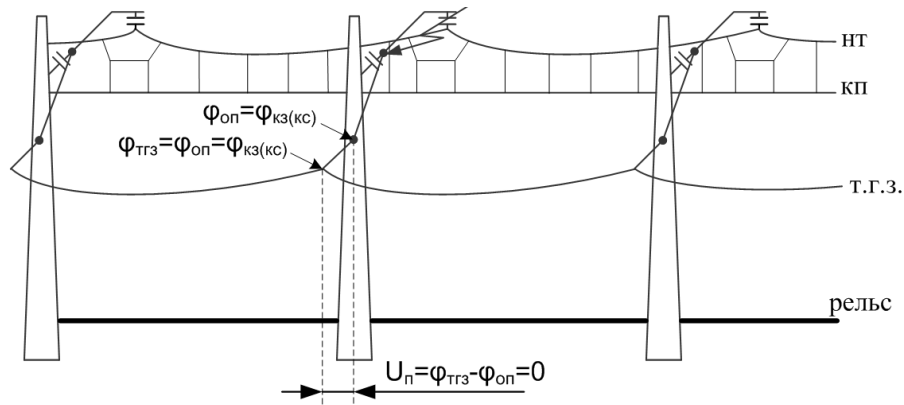


Рисунок 4 – Распределение потенциала при нарушении целостности изоляции КС в системе без заземления опор контактной сети на рельсы

Таким образом, анализ условий проведения работ на опорах контактной сети показал, что по сравнению с групповым заземлением опор на рельсовую сеть, заземление опор с использованием арматуры железобетонных опор в качестве естественных заземлителей во всех случаях коротких замыканий более безопасно, что подтверждено экспериментальными и аналитическими исследованиями, проведенными ОмГУПС на Западно-Сибирской железной дороге в период с 2009 по 2012 гг. Поэтому в 2012 году по заданию департамента Электрификации и электроснабжения первый опытный участок электрифицированной железной дороги без заземления опор на рельсы был введен в эксплуатацию. При этом были внесены изменения и дополнения во все руководящие и нормативные документы ОАО «РЖД», регламентирующие требования к электробезопасности персонала на участках переменного тока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Дынькин, Б.Е. Защита тяговых сетей переменного тока при разземлении опор контактной сети / Б.Е. Дынькин. - Хабаровск: ДВГУПС, 1999. -170 с.

2 Кремлев, И.А. Технология защиты фидеров контактной сети переменного тока от малых токов короткого замыкания / И.А. Кремлев //Новейшие достижения науки и техники на железнодорожном транспорте: сб. докл. регион. науч.-практ. конф. / ОАО «РЖД», фил. Южно-Урал. ж. д. -Челябинск, 2004. -С. 35-37.

3 Кващук, В.А. Новая защита контактной сети: опыт Западно-Сибирской дороги / В.А. Кващук, В.Ф. Степанов, И.А. Кремлев // Локомотив. -2010. -№11. -С. 44-45.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяговая сеть, короткое замыкание, релейная защита, преднамеренное разземление опор, электробезопасность*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Кондратьев Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Кузнецов Андрей Альбертович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Кващук Валентин Андреевич, электромеханик ДЭЛ Новосибирской ДЭ Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Кремлев Иван Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
630003, г.Новосибирск, ул.Владимирская, 4а, ДЭЛ Новосибирской ДЭ Западно-Сибирской дирекции инфраструктуры*

ОЦЕНКА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ИЗ-ЗА НЕСИММЕТРИИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, П.В. Морозов

VOLTAGE UNBALANCE POWER LOSSES ESTIMATION FOR AC HIGH-SPEED RAILWAYS POWER SYSTEMS

Novosibirsk state technical university

V.Z. Manusov, P.V. Morozov

Power losses caused by currents and voltages unbalance in the connection point of ac high-speed railway power system and three-phase grid has are estimated. The considered connection points include two single-phase transformer sub-stations and Scott-connected transformer-based sub-stations. The Scott circuit applied permits to reduce voltage unbalance and power losses more than 50 times if distance between sub-stations is about 200 km.

Keywords: Scott-transformer, three-phase network, power losses

Оцениваются потери мощности из-за несимметрии по току и напряжению в точке присоединения системы электроснабжения скоростных железных дорог переменного тока к трехфазной сети. В качестве точек присоединения рассматриваются подстанции с двумя однофазными трансформаторами и с трансформатором, выполненном по схеме Скотта. Показано, что применение схемы Скотта позволяет уменьшить несимметрию по напряжению и потери мощности более чем в 50 раз при расстоянии между подстанциями около 200 км.

Система электроснабжения скоростной железной дороги, электрифицированной на переменном токе, является сложной многофазной нагрузкой, присоединенной к трехфазной высоковольтной сети при помощи трансформаторных преобразователей. В связи с тем, что, как правило, количество фаз на вторичной стороне трансформаторного преобразователя, не кратно трем, трансформаторный преобразователь должен обеспечивать электромагнитную совместимость системы тягового электроснабжения и трехфазной сети за счет малой несимметрии по току и напряжению. Данная несимметрия порождает дополнительные потери мощности.

Целью настоящей работы является оценка потерь мощности из-за несимметрии токов и напряжений для двух вариантов подстанции: с двумя однофазными трансформаторами и трансформатором по схеме Скотта.

Оценка потерь мощности из-за несимметрии по току и напряжению. Коэффициент несимметрии по напряжению определяется [1]

$$K_u = \frac{U_{II}}{U_I} 100\%, \quad (1)$$

где U_I, U_{II} – модули токов соответственно прямой и обратной последовательности фаз, а комплексы \dot{U}_I и \dot{U}_{II} определяются по формулам [2]

$$\dot{U}_I = \frac{1}{3}(\dot{U}_{A1} + a\dot{U}_{B1} + a^2\dot{U}_{C1}); \quad (2)$$

$$\dot{U}_{II} = \frac{1}{3}(\dot{U}_{A1} + a^2\dot{U}_{B1} + a\dot{U}_{C1}); \quad (3)$$

$$a = e^{j120^\circ} = -0,5 + j \cdot 0,866.$$

Несимметрия напряжений порождает потери мощности в трансформаторе, которые определяются с учетом характеристик трансформатора по формуле [2]

$$\Delta P_{кз} = 2 \frac{K_u^2}{U_{кз}^2} P_{кз}. \quad (4)$$

Примем типовые значения параметров транзита до подстанции более высокого уровня. Расстояние до подстанции более высокого уровня 200 км; применяются сталеалюминиевые провода с удельным сопротивлением 0,3 Ом/км.

При расстоянии между подстанциями 200 км сопротивления фаз составляют $Z_A = Z_B = Z_C = 0,3$ Ом/км.

С учетом падения напряжения на проводах и ранее оцененного падения напряжения на трансформаторах система напряжений возле подстанции более высокого уровня будет иметь вид:

$$\dot{U}_{A2} = \dot{U}_{A1} + \dot{I}_A \cdot Z_A; \quad (5)$$

$$\dot{U}_{B2} = \dot{U}_{B1} + \dot{I}_B \cdot Z_B; \quad (6)$$

$$\dot{U}_{C2} = \dot{U}_{C1} + \dot{I}_C \cdot Z_C. \quad (7)$$

Как показало компьютерное моделирование, коэффициент несимметрии по напряжению согласно формуле (1) с учетом (2)-(7) получается $K_{unp} = 2,3\%$, что превышает значение, приведенное в ГОСТ. Следовательно, чтобы уменьшить несимметрию, не меняя структуры трансформаторного преобразователя, требуется сокращать расстояние между подстанциями, перенос подстанции – мероприятие значительно более сложное, чем замена трансформаторного преобразователя на прежнем месте.

Как показало моделирование функционирования трансформатора Скотта с устройством уравнивания мощностей (УУМ) с использованием модели на основе многоуровневых мостов [3], токи в трехфазной сети имеют следующие значения:

$$\dot{I}_{A1} = 45,5 \cdot e^{-j23^\circ}, \text{ A}; \quad \dot{I}_{B1} = 46,8 \cdot e^{-j143^\circ}, \text{ A}; \quad \dot{I}_{C1} = 45,5 \cdot e^{j97^\circ}, \text{ A}.$$

Коэффициент несимметрии по току в этом случае составляет 1%. Расчет коэффициента несимметрии по напряжению для трансформатора Скотта проводится аналогично расчету для однофазных трансформаторов по формулам (1-7). Сравнительные результаты расчетов приведены в таблице.

Таблица – Сравнение потерь мощности из-за несимметрии по напряжению

| Параметр | Схемные решения | | Изменение параметра трансформатора Скотта по отношению к однофазным трансформаторам, раз |
|--|---------------------------|----------------------|--|
| | однофазные трансформаторы | трансформатор Скотта | |
| Коэффициент несимметрии по току, % | 30 | 1 | 30 |
| Коэффициент несимметрии по напряжению для трансформаторного преобразователя, % | 0,23 | 0,003 | 77 |
| Потери мощности, кВт | 151 | 0,05 | 3000 |
| Коэффициент несимметрии по напряжению с учетом подводящих проводов, % | 2,3 | 0,04 | 58 |

Таким образом, применение трансформатора Скотта вместо однофазных трансформаторов приводит снижению в значительное число раз как несимметрии по напряжению из-за потерь в трансформаторе и проводах, так и самих потерь мощности в трансформаторе. Как и следовало ожидать, снижение несимметрии как по току, так и по напряжению, ведет к существенному снижению соответствующих потерь мощности. Степень снижения несимметрии по напряжению в основном зависит от длины проводов, идущих от подстанции более высокого уровня. Чем меньше длина проводов, тем меньше несимметрия по напряжению, поро-

ждаемая той же самой несимметрией по току. При расстоянии до подстанции более высокого уровня 200 км и более коэффициент несимметрии по напряжению для однофазных трансформаторов превышает значение, приведенное в ГОСТ, что требует либо переноса подстанции, либо применения трансформатора Скотта. Применение трансформатора Скотта получается более предпочтительным, так как в данном случае не требуется полный демонтаж подстанции, землеотвод и строительство подстанции на новом месте, и, соответственно увеличение количества подстанций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 13.109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01-01-1999. -Минск: Изд-во стандартов, 2001. -31 с.
- 2 Арутюнян, А.Г. К вопросу расчета дополнительных потерь мощности в трансформаторах 6-10/0,4 кВ при их несимметричной нагрузке / А.Г. Арутюнян // Электрич. станции. -2012. -№8. -С. 41-44.
- 3 Морозов, П.В. Метод уравнивания мощностей на вторичных обмотках трансформаторов Скотта / П.В. Морозов, В.З. Манусов / Изв. Том. политехн. ун-та. Энергетика. -Томск, 2012. -Т.320, №4. -С. 62-67.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформатор Скотта, трехфазная сеть, потери мощности
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Морозов Павел Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

СНИЖЕНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НА ВТОРИЧНЫХ ОБМОТКАХ ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА СКОТТА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.З. Манусов, П.В. Морозов, Ю.В. Морозов

CURRENT NON-LINEAR DISTORTION REDUCTION AT TRACTION SCOTT TRANSFORMER SECONDARY WINDINGS
Novosibirsk state technical university
V.Z. Manusov, P.V. Morozov, Yu.V. Morozov

Non-linear distortions of currents in secondary windings of a Scott transformer at a traction sub-station of an AC high-speed railway are estimated. The paper studies secondary windings power equalizer structure influence on total harmonic distortion factor.

Keywords: Scott-transformer, distortions, bridge

Оценивается несинусоидальность токов во вторичных обмотках трансформатора Скотта на тяговой подстанции скоростной железной дороги переменного тока. Исследуется влияние структуры устройства уравнивания мощности, подключенного к вторичным обмоткам, на коэффициент нелинейных искажений.

Для обеспечения электромагнитной совместимости системы тягового электроснабжения переменного тока с питающей трехфазной сетью было предложено применять трансформаторный преобразователь Скотта с устройством уравнивания мощности (УУМ) на вторичных обмотках. Известно, что тяговые нагрузки порождают несинусоидальные искажения кривой тока.

При содействии научного коллектива Регионального центра ресурсосбережения Томского политехнического университета (ТПУ) [1] были получены результаты измерения токов и напряжений в трехфазной сети, питающей тяговую подстанцию переменного тока Сальская Закавказской железной дороги, находящуюся в Ростовской области. На рисунок 1 приведены характеристики несинусоидальности кривых токов и напряжений.

Рисунок 1 показывает, что на некоторых периодах коэффициент искажений превышает допустимое значение 2% [2].

Целью настоящей работы является оценка влияния структуры и параметров УУМ на коэффициент несинусоидальности..

Подавление высших токовых гармоник с помощью УУМ.

Обобщенная структура УУМ, состоящего из двух тиристорных мостов M_i ($i = 1, 2$), реакторов L_i , емкостного накопителя C приведена на рисунке 2 [3]. УУМ подключается параллельно нагрузкам к вторичным обмоткам трансформатора Скотта. УУМ одновременно поддерживает постоянное напряжение на накопителе и синусоидальный ток в обмотках трансформатора.

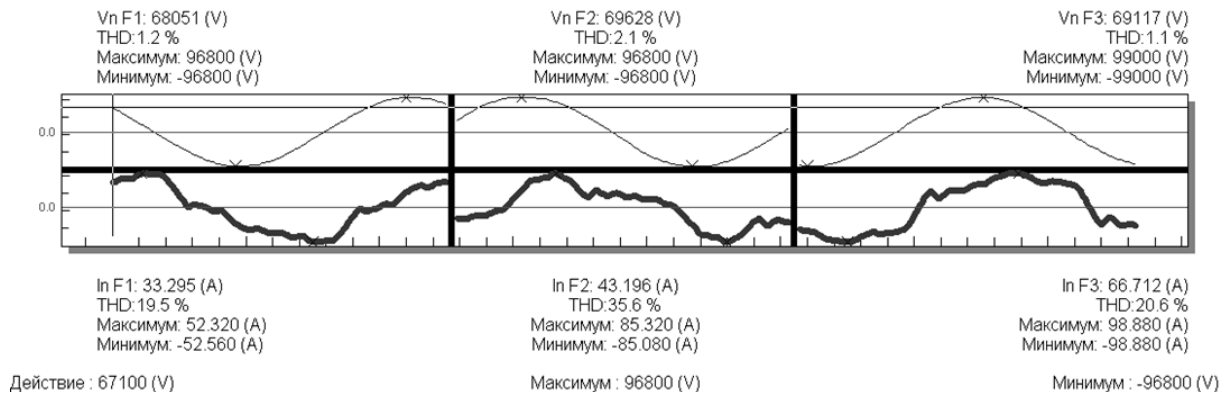


Рисунок 1 – Кривые формы токов и напряжений

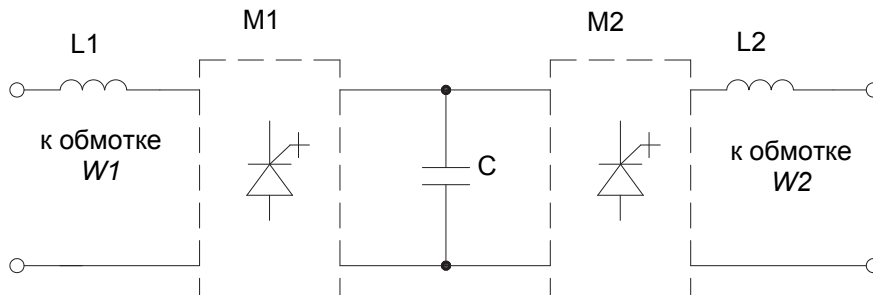


Рисунок 2 – Обобщенная структура УУМ

Формирование почти идеального синусоидального тока возможно только при очень большой частоте управляющих сигналов с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Кроме того, на вторичных обмотках трансформаторного преобразователя на тяговой подстанции формируются очень большие уровни напряжения (около 50 кВ). Эти обстоятельства не позволяют включать одиночный мост параллельно обмотке, поскольку падение напряжения на коммутационных элементах будет превышать предельно допустимые. На рисунке 3 приведено многоуровневое включение коммутационных мостов, которое обеспечивает формирование пять уровней напряжения: $-2U_c$, U_c , 0 , $+U_c$, $+2U_c$.

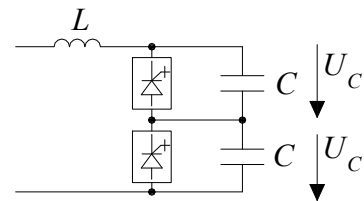


Рисунок 3 – Многоуровневое включение мостов

Уровень несинусоидальности тока в обмотках преобразователя снижается за счет увеличения частоты переключений коммутационных элементов, количества уровней напряжения, формируемых УУМ, и в свою очередь, количества коммутационных элементов.

Конечное количество накопителей и коммутационных элементов, а также конечное значение частоты их переключений не позволяет достичь теоретически достижимого нулевого уровня высших гармоник. От упомянутых факторов зависят пульсации тока

$$\Delta I = \frac{T_s}{2} \cdot \frac{U_c - U_s}{L}, \quad (1)$$

где ΔI – наибольшее изменение тока за половину периода ШИМ-сигнала, управляющего коммутационными элементами;

U_c, U_s – соответственно напряжения на накопителе и вторичной обмотке трансформатора.

На основе формулы (1) получаем

$$\Delta I = \frac{U_c \cdot T_s}{4 \cdot L}. \quad (2)$$

Если УУМ формирует M уровней напряжения, то формула (2) примет вид

$$\Delta I = \frac{U_c}{4 \cdot L} \cdot \frac{1}{M \cdot F_s}, \quad (3)$$

где F_s – частота переключений коммутационных элементов

$$F_s = \frac{1}{T_s}.$$

Поскольку форма пульсаций тока близка к треугольной, то среднее квадратическое значение высших гармоник тока, формируемых с помощью ШИМ, вычисляется по формуле

$$I_{\Delta} = \sqrt{3} \cdot \Delta I. \quad (4)$$

Тогда коэффициент несинусоидальности примет вид

$$K_{\Delta} = \frac{I_{\Delta}}{I_s}. \quad (5)$$

С учетом (4) и (5)

$$K_{\Delta} = \frac{U_c}{I_s \cdot L} \cdot \frac{\sqrt{3}}{4} \cdot \frac{1}{M \cdot F_s}. \quad (6)$$

Таким образом, коэффициент несинусоидальности тока при ШИМ управлении определяется частотой коммутации, количеством уровней напряжений и индуктивностью реактора для требуемого тока в обмотке и напряжения на накопителе. В нашем случае следует наперед задать коэффициент искажений, удовлетворяющего требованиям ГОСТ, а также ток в обмотке и напряжение на накопителе с учетом их масштабирования с помощью согласующих трансформаторов, и затем оценить M и F_s и L .

Зададим $K_{\Delta} = 1,5\%$, $U_s = 105$ В, $I_s = 50$ А.

В соответствии с таблицей индуктивности 5 мГн соответствует количество уровней 2 и частота переключений 5 кГц, что подтверждает приемлемость предложенной структуры УУМ.

Таблица – Параметры M, F_s, L для $K_{\Delta} = 1,5\%$

| M | F_s , кГц | L , мГн |
|-----|-------------|-----------|
| 1 | 1 | 60 |
| | 5 | 10 |
| | 10 | 5 |
| 2 | 1 | 30 |
| | 5 | 5 |
| | 10 | 2 |
| 4 | 1 | 15 |
| | 5 | 2 |
| | 10 | 1 |

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Харлов, Н.Н. Математическое моделирование и идентификация узлов нагрузки с нелинейными электроприемниками / Н.Н. Харлов // Электричество. -2006. -№2. -С. 7-12.
- 2 Никифоров, В.В. Новый стандарт по качеству электрической энергии. Основные положения и отличия от ГОСТ 13109-97 / В.В. Никифоров // Новости электротехники. -2011. -№3. -С. 15-17.
- 3 Морозов, П.В. Метод уравнивания мощностей на вторичных обмотках трансформаторов Скотта / П.В. Морозов, В.З. Манусов / Изв. Том. политехн. ун-та. Энергетика. -Томск, 2012. -Т.320, №4. -С. 62-67.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: трансформатор Скотта, искажения, мост
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манусов Вадим Зиновьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Морозов Павел Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»
 Морозов Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ВЛИЯНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАВЕРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Локомотивное ремонтное депо Московка Дирекции по ремонту локомотивов Западно-Сибирской железной дороги – филиала ОАО «Российские железные дороги»

Ш.К. Исмаилов, О.Д. Юрасов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик, Д.В. Юрасов

THE INFLUENCE OF PARAMETERS DIFFERENCES TRAVERSE TRACTION MOTORS ON THE QUALITY OF SWITCHING
 Omsk state transport university

Locomotive repair depot Moskovka of Management on repair of locomotives of the Western-Siberian railway – branch «Russian railways»

Sh.K. Ismailov, O.D. Yurasov, O.V. Gatelyuk, V.V. Bublik, D.V. Yurasov

The results of comprehensive experiments on the effect of different combinations of diameters traverse, end shields and collectors asymmetric position of the brush holder in the installation process (expanding) to traverse the frame of the motor.

Keywords: stand, drive motor, traverse, end shield, collector, diameter, decompression, asymmetry

Приведены результаты комплексных экспериментов по исследованию влияния различных сочетаний диаметров траверс, подшипниковых щитов и коллекторов на асимметричное положение щеткодержателей в процессе установки (разжатия) траверсы в остов электродвигателя.

Тяговые электродвигатели (ТЭД) электроподвижного состава (ЭПС) железных дорог являются одним из основных элементов, определяющих надежность работы ЭПС. На основании многочисленных исследований установлено, что на долю ТЭД приходится более 20% всех отказов электровозов и более 30% заходов на неплановые ремонты.

Из совокупности многочисленных факторов, определяющих надежность ТЭД, одним из наиболее весомых является качество коммутации, о чем свидетельствует существенная связь между степенью искрения щеток ТЭД и наработкой до отказа при анализе работы ТЭД ТЛ-2К1 и НБ-418К6 на Западно-Сибирской и Восточно-Сибирской железных дорогах. Применительно к ТЭД критерием наработки до отказа принято считать величину его пробега в процессе эксплуатации от выхода на линию до отказа [1].

Одним из факторов, влияющих на режим работы тяговых электродвигателей, является точность установки щеток на нейтраль с помощью поворотной траверсы. Смещение щеток с нейтрали приводит к расхождению скоростных характеристик и к повышенному износу щеток и коллекторов, способствует возникновению круговых огней. Так смещение траверсы на 10 мм вызывает изменение тока двигателя на 21%, смещение траверсы на 5 мм в режиме, близком к часовому приводит к увеличению степени искрения на 1 балл [2].

В эксплуатации на сети железных дорог России находится большое количество двигателей с траверсами разрезного типа. При этом необходимо отметить, что в процессе установки траверсы в остов электродвигателя происходит ее разжатие, что приводит к смещению щеткодержателей от своих первоначальных (симметричных) положений. Асимметричное расположение щеток приводит в процессе эксплуатации к неравномерной их нагрузке по току и разному уровню искрения на бракетах. Для исследования поведения траверсы в процессе ее разжатия на примере тягового электродвигателя ТЛ-2К1, на базе ремонтного локомотивного депо Московка был разработан стенд для диагностирования и настройки коллекторно-щеточного узла (КЩУ) тяговых электродвигателей электровозов постоянного тока.

Конструкция разработанного стенда представлена на рисунке 1.

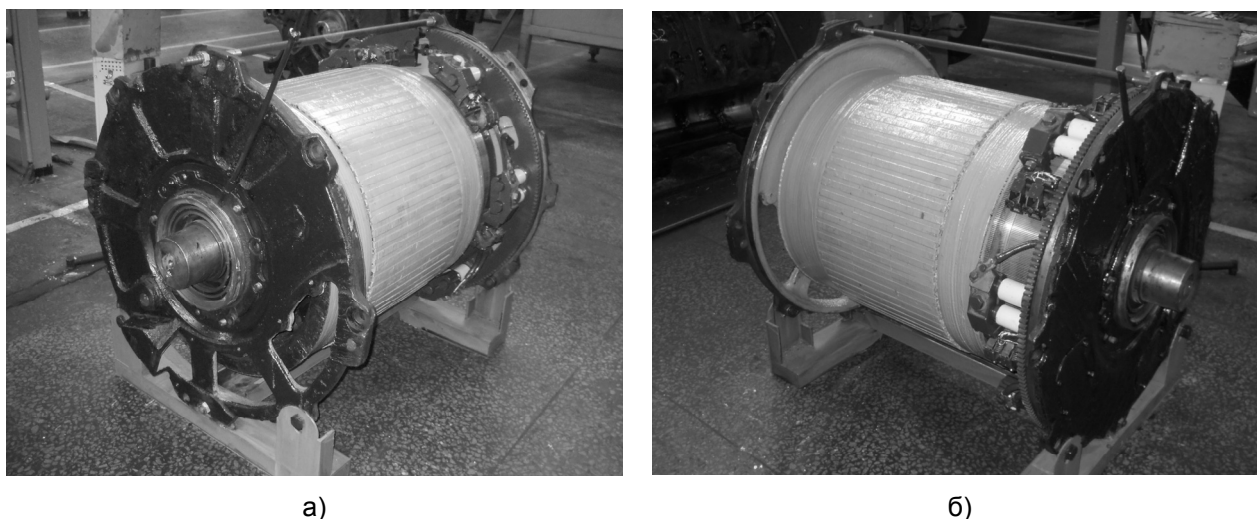


Рисунок 1 – Стенд для диагностирования и настройки КЩУ ТЭД электровозов постоянного тока вид справа (а), вид слева (б)

В процессе комплексных экспериментов были исследованы все возможные в эксплуатации сочетания диаметров траверсы, подшипникового щита и коллектора. То есть при фиксированных значениях каких-либо двух параметров (например, диаметра подшипникового щита и диаметра коллектора), производилось изменение диаметра траверсы от минимально допустимого до максимально допустимого шагом 1 мм, разжатие траверсы и замер смещения ее щеткодержателей от своих первоначальных положений.

В результате проведенного исследования для каждого комплексного эксперимента были получены графики изменения положения щеткодержателей в процессе разжатия траверсы. Рассмотрим примеры двух графиков смещения 3-го и 4-го щеткодержателей в процессе

разжатия (рисунок 2).

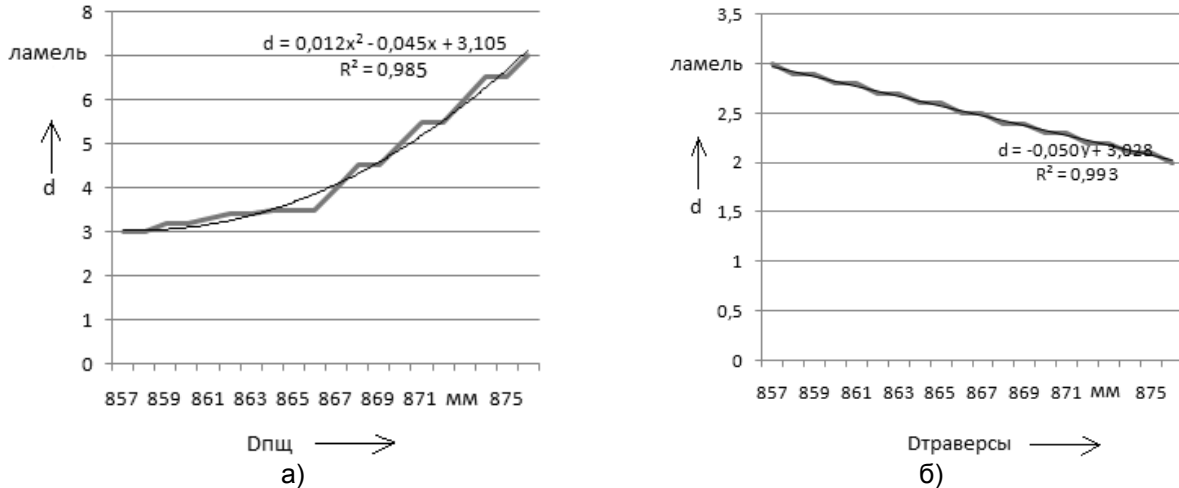


Рисунок 2 – Смещение 3-го (а) и 4-го (б) щеткодержателей относительно друг друга в процессе разжатия траверсы

График рисунка 2а показывает, что расстояние между щеткодержателями возрастает по мере увеличения диаметра подшипникового щита. Было подобрано уравнение регрессии с наибольшим коэффициентом детерминации. Подобранное уравнение оказалось квадратичным

$$d = ax^2 + bx + c \quad (1)$$

где d – расстояние между 3-м и 4-м щеткодержателями в ламелях;
 a, b, c – коэффициенты уравнения регрессии;
 x – диаметр подшипникового щита.

Для оценки качества подбора квадратичной функции был рассчитан коэффициент детерминации

$$R_{dx}^2 = \frac{D_{d \text{ объясн}}}{D_{d \text{ общ}}}, \quad (2)$$

где $D_{d \text{ объясн}}$ – сумма квадратов отклонений, объяснённая уравнением регрессии

$$D_{d \text{ объясн}} = \sum (\hat{d}_x - \bar{d})^2;$$

\hat{d}_x – значение расстояния между 3-м и 4-м щеткодержателями, полученное из уравнения регрессии при заданном значении диаметра подшипникового щита x ;
 \bar{d} – среднее значение этого расстояния, которое получается из результатов эксперимента.

$D_{d \text{ общ}}$ – общая сумма квадратов отклонений от среднего значения

$$D_{d \text{ общ}} = \sum (d - \bar{d})^2.$$

В данном случае $R_{dx}^2 = 0,985$ что показывает высокую степень связи между факторным признаком – диаметром подшипникового щита и результативным признаком – количеством ламелей.

График рисунка 2б показывает, что расстояние между щеткодержателями, наоборот, монотонно убывает по мере увеличения диаметра траверсы. Как и ранее, было подобрано уравнение с наибольшим коэффициентом детерминации. Подобранное уравнение в данном случае оказалось линейным

$$d = ky + m, \quad (3)$$

где d – расстояние между 3-м и 4-м щеткодержателями в ламелях;
 k, m – коэффициенты уравнения регрессии;
 y – диаметр траверсы.

Коэффициент детерминации в данном случае оказался равным $R_{dy}^2 = 0,993$, что также показывает высокую степень связи между факторным признаком – диаметром траверсы и результативным признаком – количеством ламелей.

В результате проведенных экспериментов и их обработки удалось построить модель,

множество допустимых параметров которой можно изобразить в виде прямоугольника данных (рисунок 3).

Следует отметить, что на рисунке 3 показан прямоугольник данных непосредственно для 3-го и 4-го щеткодержателей.

При анализе прямоугольника параметров траверсы можно сделать следующие выводы:

- при максимальном диаметре подшипникового щита и минимальном диаметре траверсы смещение 3-го и 4-го щеткодержателей друг относительно друга достигает 19,6 мм (7 ламелей);

- по мере уменьшения диаметра подшипникового щита и неизменном минимальном диаметре траверсы смещение уменьшается до 8,4 мм (3 ламели);

- по мере увеличения диаметра траверсы и неизменном максимальном диаметре подшипникового щита смещение уменьшается до 11,2 мм (4 ламели);

- по мере уменьшения диаметра подшипникового щита и неизменном максимальном диаметре траверсы смещение уменьшается до 5,6 мм (2 ламели).

Исходя из полученных результатов комплексных экспериментов, можно сделать вывод, что так называемая точка оптимума (5,6 мм) находится в месте пересечения максимального диаметра траверсы и минимального диаметра подшипникового щита.

Исследование показало, что изменение диаметра коллектора не влияет на величину смещения щеткодержателей траверсы в процессе разжатия, а приводит к изменению величины зазора между коллектором и щеткодержателем. В то же время расхождение в посадочных диаметрах подшипникового щита и траверсы приводит к асимметричному расположению щеток на коллекторе после разжатия траверсы. Так при случайном совпадении в эксплуатации минимального диаметра траверсы (857 мм) и максимального диаметра посадочного места подшипникового щита (876 мм), смещение 3-го и 4-го щеткодержателя (находящихся непосредственно у разжимного устройства) относительно своих первоначальных положений в процессе разжатия траверсы достигают 9,8 мм (3,5 ламели), а относительно друг друга 19,6 мм (7 ламелей). Было выявлено, что смещение от своих первоначальных положений в процессе разжатия траверсы происходит у всех щеткодержателей, но особенно существенно происходит именно у тех, которые находятся непосредственно у разжимного устройства, поэтому им и было уделено особое внимание.

Из проведенного исследования были представлены рекомендации для локомотивного депо Московка о необходимости подбора траверс и подшипниковых щитов по наименьшему расхождению в их посадочных диаметрах. Это позволит как можно больше нивелировать асимметрию щеткодержателей по коллектору в результате процесса разжатия (закрепления) траверсы в подшипниковом щите, тем самым снизив вероятность влияния процесса разжатия траверсы на условия работы ТЭД и качество коммутации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Современные методы, средства и системы технического диагностирования, испытания и контроля на железнодорожном транспорте. Методика и технология технического диагностирования коллекторно-щеточного узла ТЭМ: учеб. пособие / Ш.К. Исмаилов, Е.И. Селиванов, О.В. Гателюк, В.В. Бублик; под общ. ред. Ш.К. Исмаилова; Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Томск: Центр полиграф. работ, 2011. -220 с.
 2 Зеленченко, А.П. Устройства диагностики тяговых двигателей электрического подвижного состава / А.П. Зеленченко; Департамент кадров и учеб. заведений МПС. -М., 2002. -38 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *стенд, тяговый электродвигатель, траверса, подшипниковый щит, коллектор, диаметр, разжатие, асимметрия*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Исмаилов Шафигула Калимуллович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Юрасов Олег Дмитриевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Гателюк Олег Владимирович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Бублик Владимир Васильевич, канд. техн. наук, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Юрасов Дмитрий Вениаминович, мастер Локомотивное ремонтное депо Московка
 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 644120, г.Омск, ст.Московка, Локомотивное ремонтное депо Московка*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

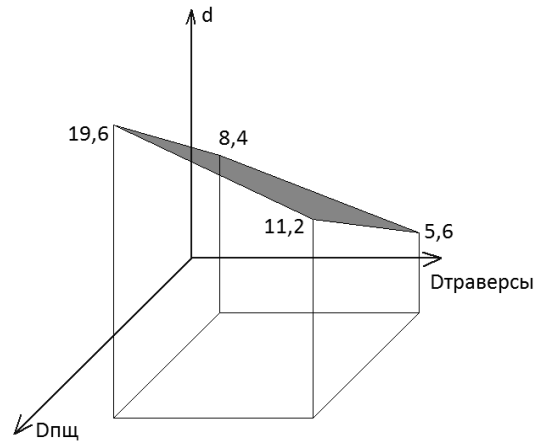


Рисунок 3 – Прямоугольник параметров траверсы: d-величина смещения между 3-им и 4-ым щеткодержателем в процессе разжатия траверсы, мм

ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЯ ОСЕЙ КОНТАКТА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

С.М. Слободян, Ю.П. Усов

EVALUATION OF WEAR CONTACT AXLE VACUUM SWITCH
National research Tomsk polytechnic university
S.M. Slobodyan, Yu.P. Usov

It is established the connection between the passed the vacuum switch current density and the value of the centering failure axis of vacuum switch contact pair as a valuation of the degradation of the physical condition and reliability of vacuum switches.

Keywords: vacuum, electrical contact, switch, estimation

Установлена связь изменения плотности тока, передаваемого вакуумным выключателем, с величиной нарушения центрирования осей элементов его контактной пары как мерой оценки ухудшения физического состояния и надёжности вакуумных выключателей.

Повышение эффективности систем и средств электроснабжения потребителей электрической энергии [1] является в настоящее время ключевым направлением. Отечественной электротехнической промышленностью разработаны и широко используется [1-5] широкая номенклатура выключателей тока для решения задач коммутации линий электроснабжения и защиты оборудования энергетических систем и электрических сетей от аварий и перенапряжений. Наиболее перспективны для этой цели – вакуумные выключатели, обладающие большей величиной отключаемого тока и ресурсом работы. Их используют в электрических линиях до 35 кВ, наиболее распространенных в системах электроснабжения всех видов потребителей. Одним из путей повышения надёжности вакуумных выключателей является тщательное исследование наибольшего числа физических процессов и явлений, протекающих при их практической работе.

Проведение настоящего анализа влияния совокупности действующих факторов на технические параметры и качество выполнения заданных выключателю функций может послужить основой не только разработки новых принципов и создания нового типа, но и улучшения существующих элементов и устройств выключателей тока в средствах оперативного контроля и сигнализации об авариях.

Часто при испытаниях вакуумных выключателей не учитывают большое число факторов влияния, в том числе, геометрического фактора – неидеального совмещения контактных плоскостей из-за конструктивного смещения осей контакта, равного ~10% от размера элементов круглой формы контактной пары. Эти особенности контакта элементов пары, часто оказывают преобладающее влияние на пропускную способность выключателей по плотности тока переключения и их надёжность. До сих пор отсутствуют работы по оценке влияния геометрии, формы и других факторов на номинальные значения основных параметров, в частности, изменения плотности, передаваемого выключателем, тока в стационарном и в динамическом режимах включения и отключения электрических линий. Анализ опыта эксплуатации [1-5] вакуумных выключателей показывает, что, несмотря на их эффективное применение, аварийность сетей сохраняется на достаточно высоком уровне. Поэтому проблема выявления факторов, снижающих надёжность, сохранила актуальность и в наше время.

Цель настоящей работы – изучение особенностей проявления влияния взаимного смещения центров элементов контактной пары на среднее значение плотности тока, передаваемого контактными элементами вакуумных выключателей.

Исследование и анализ работы вакуумных выключателей тока, фрагмент типичного устройства контактного узла которых в отключенном состоянии приведён на рисунке 1, наиболее интересны в реальных условиях коммутационного функционирования.

Как показывают эксперимент и практическая эксплуатация вакуумных выключателей [1-5], процессы, протекающие в дугогасящей камере выключателя и электрической линии, связанные с явлениями коммутации на стадиях его «включения-отключения», представляют значительную опасность (рисунок 2) для состояния элементов контактной пары вакуумного выключателя, электрических линий и оборудования, выбор параметров которого осуществляют для нормального функционирования вакуумного выключателя в установившемся стационарном режиме. Результаты эксплуатации (рисунок 2) наглядно указывают на важность

проведения оценки влияния децентровки элементов контактной пары на плотность тока, коммутируемого вакуумным выключателем.

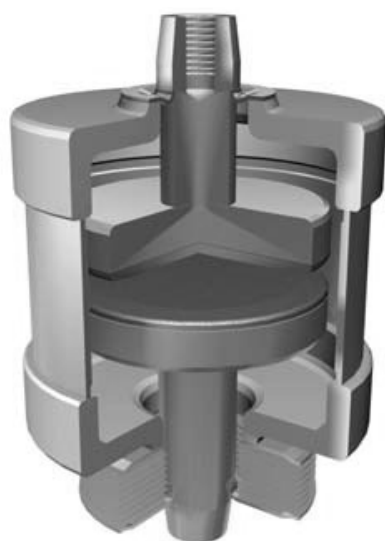


Рисунок 1 – Иллюстрация типичной конструкции контактного пространства вакуумного выключателя ВВ/TEL [5] в состоянии «отключено»

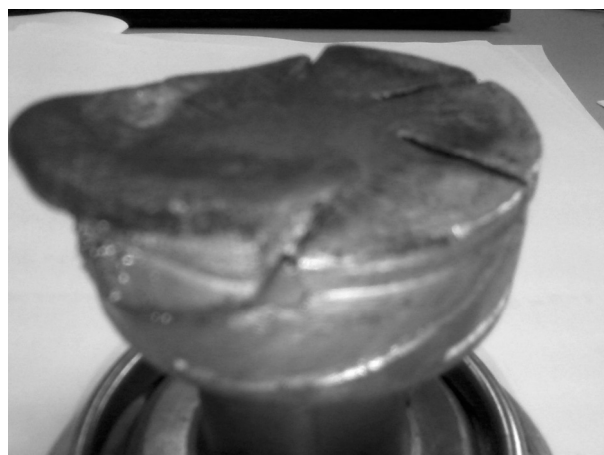


Рисунок 2 – Типичная деформация контактной поверхности элемента контактной пары вакуумного выключателя (наглядная иллюстрация результата децентрированного воздействия на контактную поверхность элемента)

В исходном положении смыкание поверхностей двух (АБ) элементов контактной пары (примем, за А-верхний тарельчатого типа элемент, а за Б-нижний элемент контактной пары) вакуумного выключателя можно рассматривать как смыкание двух двумерных поверхностей, не являющихся зеркальными, или расслоения сечений контактных поверхностей элементов пары. Для математической формализации описания примем, что поверхности сечения контакта двух смежных половин вакуумного выключателя образуют всюду плотное контактное множество. При нарушении жёсткости совмещения и, допускаемого конструкторами при проектировании и практическом исполнении [5], то есть наличия взаимного смещения контактных поверхностей элементов пары представляет интерес получение оценки размера области пространства контактного взаимного покрытия сопрягаемых элементов контактной пары. В общем виде такая взаимосвязь может быть установлена аналитическим решением двойного интеграла от функции двух переменных распространённым на площадь перекрытия S в декартовом представлении

$$\int_S f(x,y) dS \equiv \iint_S f(x,y) dS = \int_a^b \int_{\varphi_1(x)}^{\varphi_2(x)} f(x,y) dx dy ,$$

где $y = \varphi_1(x)$, $y = \varphi_2(x)$ – соответственно, уравнения верхней и нижней частей кривой описания формы элементов А и Б, ограничивающей площадь перекрытия $S_{\text{кп}} \equiv S$;
 a, b – абсциссы крайних левой и правой точек сечения перекрытия;
 dS – элемент площади взаимного перекрытия элементов контактной пары
 $dS = dx dy$.

В предположении идентичности размеров сечений расслоения контакта обоих элементов А и Б круглой формы диаметра $d_3 = 2R$ функцию изменения площади их взаимного контактного перекрытия можно представить в виде

$$S_{\text{кп}} = \eta_n S_i .$$

При совпадении площадей и формы элементов $S_{\text{кп}} = S_i$, так как $\eta_n = 1$. Обозначим δ – модуль вектора взаимного смещения центра элемента А (круглой или квадратной форм) относительно центра второго элемента Б той же формы

$$\delta = \sqrt{\delta_x^2 + \delta_y^2} / 2 .$$

Тогда относительное смещение их центров определится соотношением

$$\delta = (0,5d_3 + x) / d_3 ,$$

где x – абсолютное значение взаимного смещения осей обоих элементов А и Б.

В сделанных предположениях для коллинеарной геометрии расположения осей симметрии элементов контактной пары и её сохранения для любых траекторий динамического смещения контактных элементов в процессе «включения–выключения» или коммутации тока линии, используя, приведённые выше, интегральные выражения, можно вычислить эффективность взаимодействия элементов контактной пары вакуумного выключателя. За основу количественной оценки эффективности использования площади контакта элементов контактной пары примем ранее принятое соотношение для коэффициента оценки изменения площади взаимного перекрытия торцов элементов контактной пары $S_{кп} = \eta_n S_i$ или в относительной мере измерения

$$\eta_n = S_{кп} / S_i .$$

Для контактного сечения круглой формы диаметра d_s сплошного заполнения поверхности элементов контактной пары коэффициент эффективности η_n как функцию изменения площади их взаимного контактного перекрытия можно представить в виде соотношения, полученного на основе решения интегрального функционала – двойного интеграла от функции двух переменных

$$\eta_n \sim \left[1 + \frac{4}{\pi} (2\delta - 1) \sqrt{\delta - \delta^2} + \frac{2}{\pi} \arcsin(2\delta - 1) \right] .$$

Для прямоугольной формы $a \times b$ контактной области элементов контактной пары выключателя и взаимного смещения элементов по одному из направлений, например, δ_a или δ_b системы координат (x, y) , совмещённой с плоскостью контактного расслоения элементов, коэффициент эффективности контактного перекрытия элементов пары определяется просто

$$\eta_n = \frac{\delta_a}{a} \text{ или } \eta_n = \frac{\delta_b}{b} .$$

При векторном смещении эффективность контакта равна

$$\eta_n = \frac{\delta_a \delta_b}{ab} .$$

Эти соотношения можно использовать для нахождения оценок закономерности изменения плотности тока при нарушении осевой симметрии контакта элементов пары. В таблице приведены значения результатов расчета эффективности передачи тока круглой η_o и квадратной форм η_k элементами контакта при смещения их центров, а также влияние формы элементов на различие $\Delta\eta_{кo}$ -эффективности передачи тока при смещении осей.

При определении степени влияния нарушения осевой симметрии совмещения центров разделяемых элементов (степени смещения контактных областей) контактной пары силовоточного выключателя на изменение плотности тока, передаваемого через элементы контактной пары могут быть использованы разные подходы. В первом приближении, для упрощения процедуры получения оценок, можно применить подход, действующий при большой жёсткости конструкции управляющей динамикой осевого перемещения подвижного элемента контактной пары. Для конструкции типа приведённой на рисунке 1, справедливо предположение, действующее на практике, достаточной малости рассогласования центров контакта плоскостей двух элементов разделяемой контактной пары выключателя. Тогда, при малом рассогласовании центров совмещаемых кругов радиусом r элементов контактной пары, будет справедливо следующее разложение тригонометрической функции синуса $\sin \alpha \cong \alpha = \frac{\delta}{r}$; оно действует в диапазоне смещений порядка $\delta \approx 0,1 r$.

Таблица – Результаты расчета

| δ | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0 |
|-------------------|-----|------|------|------|------|-----|
| η_o | 2,0 | 1,58 | 1,35 | 1,18 | 1,07 | 1,0 |
| η_k | 2,0 | 1,67 | 1,42 | 1,25 | 1,11 | 1,0 |
| $\Delta\eta_{кo}$ | 0 | 0,09 | 0,07 | 0,07 | 0,04 | 0 |

Снижение эффективного контактного сечения в области расслоения элементов контактной пары выключателя круглой формы контактных поверхностей элементов пары может быть определено из простого алгебраического соотношения

$$S_{n|r_1=r_2=r} \cong r^2 \left(\frac{\pi\alpha}{180} - \sin \alpha \right) .$$

Относительная погрешность применения этого соотношения для оценки влияния несов-

падения центров двух (подвижного А элемента с неподвижным Б) элементов контактной пары вакуумного выключателя достаточно точна. Для точного $\delta = 0$ совпадения осей симметрии круглой формы элементов погрешность оценки изменения площади взаимного покрытия элементами контактной пары не превышает 3,2%

$$\Delta s = S_n / S_o = 3,04r^2 / \pi r^2 .$$

При полном 100% расхождении $\delta/r = 1$ осей симметрии круглой формы элементов относительная погрешность оценки площади взаимного покрытия элементами контактной пары тождественна нулю.

Один из самых тяжёлых для выключателей тока режимов функционирования является режим разрыва передачи тока, протекающего через элементы контактной пары при коротком замыкании сети. Сравнение результатов анализа с данными испытаний нормированными импульсами тока длительностью $2 \cdot 10^{-3}$ с и $(1,25-2,5)10^{-3}$ с подтверждает достаточный запас стойкости и пропускной способности по плотности передаваемого тока в коммутационном режиме выключателя при идеальном совмещении элементов контактной пары. Пересчёт токов для разных вариаций смещения центров элементов контактной пары выключателя может быть проведён с учётом зависимости

$$\eta / \eta_0 = \text{Const} ,$$

где η – коэффициент эффективности относительного использования полной контактной площади перекрытия элементов контактной пары.

Даже беглый взгляд на это соотношение показывает, что выход из строя выключателей будет происходить при протекании значительно меньшего номинального значения тока отключения, причём перегрузка контактного сечения элементов контактной пары вакуумного выключателя будет расти пропорционально росту плотности тока переключения при разрыве линии.

Тепловые и электродинамические нагрузки электрической дуги отключения нарушают параллельность плоских контактных поверхностей элементов пары (рисунок 2) и при повторных включениях выключателя эффективная площадь контакта существенно уменьшается. Это увеличивает в контактной области удельную плотность тока, которая может превышать предельные, установленные производителем, значения. Резкий рост удельной плотности тока значительно увеличивает электроэрозионный износ контактных поверхностей, что приводит к аварийным ситуациям, вплоть до сваривания элементов контактной пары. Кроме того, эффект точечного приваривания приводит не только к замедлению процесса разрыва линий электрической сети, но, следовательно, к увеличению перенапряжений в линиях электропередач.

Тепловое воздействие дуги, возникающей в межконтактном промежутке, на контактную поверхность элементов контактной пары и временное замедление разрыва электрической линии – это два фактора, кажущиеся на первый взгляд, незначительными и кратковременными, оказывают преобладающее влияние из-за достаточно сильного физико-механического действия на контактную поверхность элементов пары, пластическая деформация которых выводит высококачественный выключатель из строя, разрушая, как показано на рисунке 2, его плоскостную форму поверхностей контактного разрыва проводника. Отведение тепла из контактной зоны существенно облегчит условия работы токоведущих элементов, позволит увеличить токовую нагрузку на токопроводы без увеличения их активного сечения и повысит эффективность элементов вакуумных выключателей, например [5] серии ВВ/TEL.

Практическая ценность настоящей работы: проведено апробирование методики количественной оценки степени влияния смещения осей элементов контактной пары на изменение плотности тока вакуумного выключателя.

Выводы: Показано, что наибольшее влияние на ухудшение качества передачи тока и снижение надёжности вакуумных выключателей оказывает формирование контактной области разрыва линии тока при наличии геометрического смещения центров элементов пары, обусловленного механической деформацией геометрии осей, электроэрозионной и тепловой деформацией плоскостей контакта элементов контактной пары.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ 13.109–97. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. –Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 01-01-1999. –Минск: Изд-во стандартов, 2001. –31 с.

2 Румянцев, Д.Е. Современное вакуумное коммутационное электротехническое оборудование сетей и подстанций / Д.Е.

Румянцев. -М.: ИПК госслужбы, 2000. -71 с.

3 Кужеков, С.Л. Практическое пособие по электрическим сетям и электрооборудованию / С.Л. Кужеков. -Ростов н/Д: Феникс, 2009. -492 с.

4 Вакуумные коммутационные аппараты / Г.Н. Александров [и др.]. -СПб., 1995. -62 с.

5 Вакуумные выключатели серии ВВ/TEL [Электронный ресурс]. -М.: ТАВРИДА ЭЛЕКТРИК, 2012. -34 с. -Режим доступа: www.tavrida.ru.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вакуум, электрический контакт, коммутатор, оценка

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Слободян Степан Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
Усов Юрий Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКА В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ

ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Е.В. Тарасов

CHARACTERISTICS OF ELECTRIC EXPLOSION OF A DELAY IN TRANSFORMER OIL

National research Tomsk polytechnic university

E.V. Tarasov

In the two-level explosive switch destruction of a delay happens in the form of electric explosion. Criteria of similarity of electric explosion in transformer oil are defined.

Keywords: electric explosion of a delay, criterion of similarity, integral of specific action

Установлено, что в двухступенчатом взрывном размыкателе разрушение плавкого проводника происходит в виде электрического взрыва. Найдены критерии подобия электрического взрыва проводочки в трансформаторном масле.

Задача защиты силового электрооборудования от токов короткого замыкания продолжает оставаться актуальной, особенно при росте единичных мощностей агрегатов. Требуется, как максимально уменьшить время отключения цепи, так и ограничить амплитуду аварийного тока. С данными требованиями хорошо справляется взрывной размыкатель [1]. Высокоскоростной поток трансформаторного масла и высокое давление обеспечивают скорость образования межконтактного промежутка на уровне 20-100 м/с. В этих условиях происходит как быстрое нарастание напряжения на разрыве, так и восстановление электрической прочности после отключения тока.

В известном способе двухступенчатого размыкания сильноточной цепи [2] параллельно силовым контактам подключается предохранитель с взрывающейся проводочкой. Такое решение позволяет резко увеличить длину дуги отключения и уровень ограничения аварийного тока. Разрушение проводочки генерирует кратковременный всплеск напряжения на продуктах разлета металла (рисунок 1). Образующийся пик напряжения должен быть согласован с уровнем электрической прочности промежутка первой ступени. В противном случае возможен пробой между движущимися контактами и отказ аппарата. Он не может не учитываться при выборе размеров проводочки. Получение характеристик взрывающегося проводника стало целью настоящего исследования. Эксперименты проводились в LC контуре (ГИТ), имитирующем аварийный ток.

В исследованном диапазоне уставок срабатывания успешное переключение тока во вторую ступень и последующее отключение наблюдалось при сечениях проводников $(0,03-0,20)10^{-6} \text{ м}^2$. Большие сечения проволок не обеспечивали достаточной скорости роста напряжения на промежутке и чрезмерно затягивали процесс отключения, меньшие приводили к пробую межконтактного промежутка первой ступени. Плотности токов в момент разрушения проводочки находились в пределах $(0,3-1,0)10^{-11} \text{ А/м}^2$, что подтверждает существование режима электрического взрыва [3,4].

Детальное рассмотрение осциллограммы напряжения на проводнике свидетельствует о типичном электрическом взрыве (рисунке 1б). После перевода тока в проводочку его величина вначале определяется волновым сопротивлением контура, так как сопротивление проводника мало. Проводник поглощает энергию, плавится (t_1) и, далее, нагревается в жидком состоянии до момента (t_2). В этот момент заканчивается стадия нагрева проводника и на-

чинается бурное его расширение. Проводник теряет металлическую проводимость, его сопротивление увеличивается на несколько порядков, ток в контуре изменяется, а индуктивность генерирует на сопротивлении проводника пик напряжения. Это стадия собственно взрыва. Она менее изучена, так как одновременно происходит несколько процессов, относительное влияние которых на процесс взрыва зависит от начальных условий. В момент (t_3) происходит пробой промежутка на проволочке, инициирующий дугу.

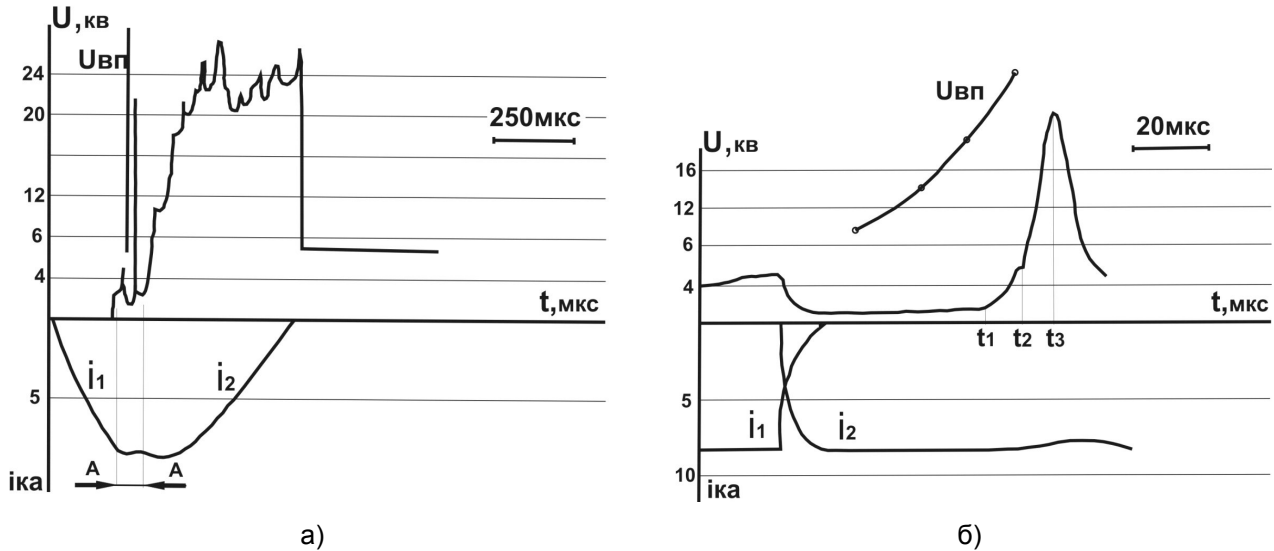


Рисунок 1 – Осциллограммы отключения тока двухступенчатым взрывным размыкателем: А-А – переключение тока во вторую ступень ДРВ

Для целей понимания явлений в промежутке отключения достаточно упрощенно разделить весь процесс на стадии нагрева и разрушения. В стадии нагрева сечение проводника практически не изменяется. Время нагрева от начала протекания тока до пика напряжения связано с плотностью тока j соотношением, получившим название «интеграл удельного действия» [3].

$$\int_0^{t_n} j^2(t) \times dt = h. \quad (1)$$

Величина h зависит в основном от материала проводника, выбираемого по условиям переключения тока с возможно меньшим удельным сопротивлением. По степени возрастания ρ металлы располагаются следующим образом: Au, Ag, Cu, Al. По экономическим соображениям останавливаемся на двух последних. При этом, обзор по исследованию взрывающихся проводников [4] показывает, что наиболее изучены и дают лучшие характеристики при взрыве медные проводники круглого сечения, для которых в широком диапазоне плотностей тока $h \approx 2 \cdot 10^{17} \text{ A}^2 \cdot \text{с}/\text{м}^4$. В том случае, если проводник работает во второй ступени размыкателя и ток через него на стадии нагрева изменится незначительно, t_n определяется как

$$t_n = \frac{h}{j^2}. \quad (2)$$

На стадии разрушения происходит резкий рост сопротивления проводника и превращение его материала в паро-капельную смесь. Механизм разрушения и характер роста сопротивления зависят от скорости ввода энергии, определяемой плотностью тока j . Данный критерий делит взрывы на несколько видов [4], которые, однако, могут быть грубо объединены в группы «быстрых» и «медленных» исходя из сравнительной однородности процессов по длине проводника [5]. Данные [5] по взрыву проволочек в воде наглядно показывают границу между этими видами электрического взрыва. Она попадает в диапазон j для рассматриваемого предохранителя. В этой связи целесообразно выявить основные факторы, влияющие на электрические характеристики быстрого и медленного взрыва.

Определяющим процессом быстрого взрыва является сравнительно однородное по длине проводника вскипание металла и разлет продуктов. Если принять, что разрушение происходит в виде волны испарения, движущейся от поверхности проводника к оси [6], мож-

но ввести характерную скорость разлета ϑ , зависящую от введенной энергии. Время разлета оказывается пропорциональным диаметру проволоочки $t_p = d/2\vartheta$, а отношение времен t_p/t_n образует критерий подобия быстрого взрыва

$$\Pi = \frac{t_p}{t_n} = \frac{j^2 d}{2h\vartheta} \quad (3)$$

Такая зависимость времени разлета от диаметра наблюдается для достаточно быстрых взрывов в воздухе [6]. Она приводит к тому, что максимальное напряжение оказывается различным для проводников с разным диаметром, но с одинаковым общим сечением, взрывааемых в одних условиях. Этот факт положен в основу вывода критериев подобия электрического взрыва, изложенных в [7].

Критерий подобия, содержащий комплекс $j^2 d$ был из несколько иных предпосылок получен в [8]. При неизменных характеристиках материала проводника и окружающей среды величины h и ϑ можно опустить и критерий приобретает вид $j^2 d$. Все характеристики взрыва будут функциями $j^2 d$, в частности, удельное сопротивление ρ_m в момент, максимума напряжения // плотность тока j и удельное сопротивление ρ рассчитываются на единицу начального сечения проводника. Широкая зона E_m (значения градиентов отличаются примерно в 2,5 раза) не позволила решить задачу расчета электрических характеристик взрывающейся в масле проволоочки //

$$\rho_m = \frac{U_m}{lj} = f(j^2 d) \quad (4)$$

С уменьшением скорости ввода энергии определяющую роль в процессе ЭВП приобретают силы магнитного поля, приводящие к образованию неустойчивостей по длине проводника [5, 9]. Вследствие этого возникают перетяжки, в которых выделяется почти вся вводимая энергия. На месте перетяжек образуются дуги, число которых растет со временем, что вызывает рост напряжения на проводнике [10]. Постоянная времени развития МГД неустойчивостей обратно пропорциональна плотности тока

$$\tau_{мгд} = \frac{\sqrt{2\gamma/\mu_0}}{j},$$

где μ_0 – магнитная проницаемость вакуума;

γ – плотность металла.

Напряжение на проводнике в такой модели должно зависеть от плотности тока. Имеются сведения [11], что при взрыве в воде коротких проволок, не отключающих полностью ток в цепи, максимальное напряжение различается всего на 25% при изменении диаметра в 4 раза с сохранением общего сечения. В [12] для электрического взрыва в конденсированных средах отмечена зависимость $E_m = U_m/l$ от диаметра. Там же дан график изменения E_m от плотности тока для медных проводников в диапазоне $j = (10^9 - 10^{11}) \text{ А/м}^2$. К сожалению, ввиду столь противоречивой исходной информации о виде независимых переменных и взаимосвязи между ними, а также недостаточного количества литературных данных для проведения инженерных расчетов по выбору длины и сечения взрывающихся проволок, проведены эксперименты по исследованию характеристик взрывающихся проводников в трансформаторном масле и воде.

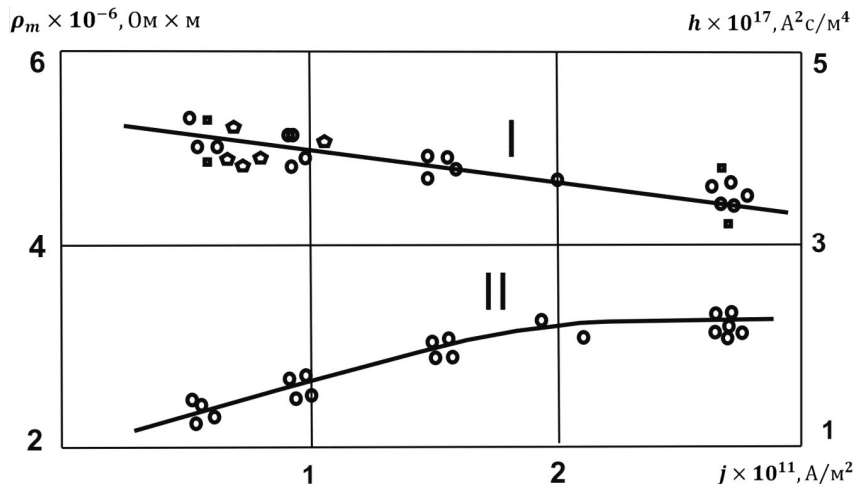


Рисунок 2 – Зависимость максимального удельного сопротивления ρ_m и удельного действия h от плотности тока j : ●-эксперименты в LC контуре в среде трансформаторного масла; ■-эксперименты в LC контуре в неочищенной воде; ◊-эксперименты на макете ДРВ

Эксперименты по исследованию характеристик взрывающихся проводников в трансформаторном масле и воде.

При обработке результатов экспериментов в качестве зависимой переменной взято максимальное кажущееся удельное сопротивление ρ_m , так как оно более устойчиво, чем максимальный градиент напряжения и, кроме того, для него можно указать масштаб - начальное удельное сопротивление ρ_0 , в то время как для градиента масштабной величины из параметров, определяющих наше явление составить нельзя.

По полученным данным были построены зависимости максимального удельного сопротивления $\rho_m = E_m/j$ в функции j^2d и j , то есть с позиций быстрого и медленного взрыва (рисунок 2). Предварительный анализ показал, что разброс точек относительно линии регрессии в обоих случаях примерно одинаков - до 20%. Ввиду одинаковой точности описания для практического использования предлагается взять более простую зависимость - от плотности тока. Аппроксимирующая экспериментальные точки линия (рисунок 2) может быть описана выражением

$$\rho_m = -0,29 \cdot 10^{17} \times j + 5,25 \cdot 10^{-6}. \quad (4)$$

Данная зависимость при соответствующем пересчете (в координатах E_m и j) согласуется с результатами работы [12]. По экспериментальным результатам определялась также зависимость удельного действия взрыва h от плотности тока (см. рисунок 2).

График, представленный на рисунок 3, служит основой для выбора сечения взрывающегося проводника при известной его длине. В этом случае требуется определение значения перенапряжения и момента его возникновения после переключения тока во вторую ступень. Амплитуда пика напряжения U_m находится из аппроксимирующего выражения

$$U_m = I(-0,29 \cdot 10^{-17} j^2 + 5,25 \cdot 10^{-6} j). \quad (5)$$

Время нагрева определяется из уравнения (1). Однако величина h зависит от плотности тока. Поэтому целесообразно воспользоваться графическим методом нахождения оптимального сечения.

На рисунке 2 показано совпадение электрических характеристик взрывающихся проволок в LC контуре и второй ступени ДРВ (в воде и трансформаторном масле). Последнее обстоятельство позволяет отожествить влияние на импульс напряжения двух сред и переносить данные в другие области применения взрывающихся проволочек.

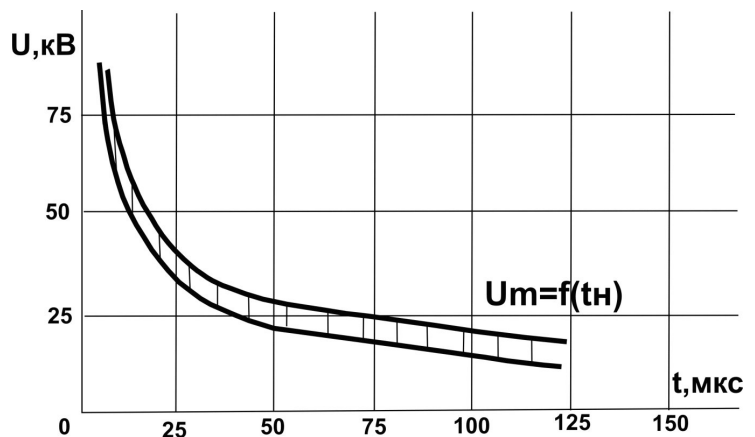


Рисунок 3 – Зависимость перенапряжения от времени нагрева проволочки (диапазон перенапряжений указан для проволочек длиной 100 мм)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электрические и электронные аппараты: учеб. для вузов / под ред. Ю.К. Розанова. -М.: Информэлектро, 2001. -420 с.: ил.
- 2 Корольков, В.Л. Исследование образования межконтактного промежутка во взрывном коммутаторе / В.Л. Корольков, А.А. Сивков // Электротехника. -1983. -№4. -С. 21-23.
- 3 Электрический взрыв проводников: пер. с англ. / под ред. А.А. Рухадзе, И.С. Шпигеля. -М.: Мир, 1965. -392 с.
- 4 Бурцев, В.А. Электрический взрыв проводников: обзор ОК-17 / В.А. Бурцев, Н.В. Калинин, В.Н. Литвиновский; НИИ ЭФА. -Л., 1977. -170 с.
- 5 Литвиненко, В.П. Некоторые особенности подводного электрического взрыва проводников / В.П. Литвиненко // Физические основы электрического взрыва: сб. науч. тр. -Киев, 1983. -С. 73-78.
- 6 Беннет, Ф.Д. Волна испарения / Ф.Д. Баннет // Физика высоких плотностей энергии: пер. с англ. / под ред. П. Кальдирылы, Г. Кнопфеля. -М., 1974. -С. 245-257.
- 7 Азаркевич, Е.И. Условия возникновения паузы тока при электрическом взрыве проводников / Е.И. Азаркевич, Ю.А. Котов, В.С. Седой // Журн. техн. физики. -1975. -Т.45, №1. -С. 175.
- 8 Иванов, В.В. Исследование роли радиальных неоднородностей взрывающихся проволок методом подобия / В.В. Иванов // Теплофизика высоких температур. -1983. -Т.21, №1. -С. 146.
- 9 Магнитогидродинамические неустойчивости при электрическом взрыве / К.Б. Абрамова и [др.] // ДАН СССР. -1966. -Т.167, №4. -С. 778.
- 10 Бакулин, Ю.Д. Магнитогидродинамический расчет взрывающихся проводников / Ю.Д. Бакулин, В.Ф. Куропатенко, А.В. Лучинский // Журн. техн. физики. -1976. -Т. 46, №9. -С. 1963.
- 11 Кривицкий, Е.В. О механизме взрыва проводников импульсами тока / Е.В. Кривицкий, В.П. Литвиненко // Журн. техн. физики. -1976. -Т.46, №10. -С. 2081-2087.
- 12 Будович, В.Л. Влияние условий электрического взрыва проводника на импульс напряжения / В.Л. Будович, И.П. Кужекин // Применение высоких напряжений в промышленности и энергетике: труды / МЭИ.-М., 1975. -Вып.224.
- 13 Корольков, В.Л. Математическое моделирование дуги отключения во взрывном дугогасительном устройстве / В.Л. Ко-

рольков, С.В. Сорокин, Е.В. Тарасов // Электротехника. -1986. -№9.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрический взрыв проволоочки, критерий подобия, интеграл удельного действия
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Тарасов Евгений Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГБОУ ВПО «НИ ТПУ»

К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТРЕХОСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.Г. Гурова

TO DESIGNING OF TRIAXIAL ELECTROMAGNETIC RIGIDITY COMPENSATOR
Novosibirsk state academy of water transport
E.G. Gurova

In this paper considers triaxial electromagnetic rigidity compensator. The characteristic space corrector, which is used in systems of tuning vibration isolators.

Keywords: triaxial compensator rigidity, vibration

Рассмотрен трехосный электромагнитный компенсатор жесткости. Представлена характеристика пространственного корректора, использованная в системах перестройки виброизоляторов.

Сегодня одной из существенных проблем на транспорте является вибрационные колебания, генерируемые энергетическими установками. Одним из самых перспективных современных решений данной проблемы является виброизолирующие устройства, работающие по принципу эффекта нулевой жесткости [1]. Такие виброизолирующие устройства (виброизоляторы) представляет собой упругий элемент и параллельно включенный компенсатор жесткости, имеющий падающую силовую характеристику. Согласно теории виброизоляции, изложенной в [1], для исключения пространственной вибрации необходимо установить как минимум шесть одноосных виброизоляторов по трем осям пространства для защиты объекта, не исключая ни одной степени свободы защищаемого объекта. На сегодняшний день научными коллективами разработаны множество конструкций компенсаторов жесткости виброизолирующих устройств. Одним из наиболее эффективных следует считать виброизоляторы с электромагнитными компенсаторами жесткости [2, 3], снабженные системами перестройки, отслеживающей вибрационные перемещения, и перераспределяющие напряжение на катушках электромагнитов компенсатора. Характеристика одноосного электромагнитного компенсатора жесткости имеет вид, представленный на рисунке 1.

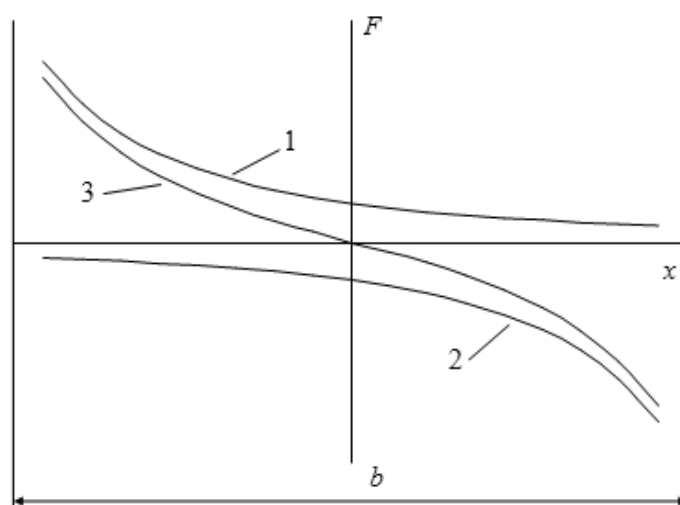


Рисунок 1 – Силовая характеристика одноосного электромагнитного компенсатора жесткости: 1-тяговая характеристика 1-го электромагнита; 2-тяговая характеристика 2-го электромагнита; 3-суммарная тяговая характеристика

В [2] выведено уравнение силовой характеристики рассматриваемого компенсатора жёсткости (рисунок 1), которое имеет вид

$$F(x) = \frac{k}{\left(\frac{b}{2} - x\right)^2} - \frac{k}{\left(\frac{b}{2} + x\right)^2}, \quad (1)$$

где $F(x)$ – суммарная сила тяги электромагнитов;

k – коэффициент, зависящий от конструктивных особенностей электромагнита;

b – расстояние между полюсами электромагнитов;

x – перемещение якоря электромагнита.

Тяговую характеристику нелинейного компенсатора, показанную на рисунке 1, можно описать более простым уравнением, сохраняя ту же точность описания

$$F(x) = a_3 x^3 + a_1 x, \quad (2)$$

где a_1, a_3 – коэффициенты аппроксимации.

Уравнение (2) использовано в разработке перестраивающегося компенсатора жесткости [2], которое показало достаточную эффективность для исключения вибрационных колебаний, однако только относительно одной оси. Поэтому для исключения пространственных колебаний в [4, 5] предложен виброизолятор с трехосным электромагнитным компенсатором жесткости системой перестройки.

Пространственный виброизолятор представляет собой упругий элемент и параллельно включенный ему трехосный электромагнитный компенсатор жесткости. Обе составляющих расположены между двумя основаниями (вибрирующим и защищаемым). Упругий элемент в виде пружин закреплен между вибрирующим и защищаемым основаниями таким образом, чтобы защищаемое основание находилось в пространстве. Электромагнитный компенсатор жесткости представляет собой два встречно включенных электромагнитных наборных диска. Компенсатор жестко закреплен на вибрирующем основании. Каждый диск выполнен в виде шести электромагнитных (магнитных) катушек, изолированных друг от друга, расположенных по две относительно трех осей пространства. Каждая катушка запитывается отдельно от источника питания. Компенсатор жесткости снабжен устройством управления, контролирующим изменение относительного положения вибрирующего и защищаемого объектов и перераспределяющим напряжение на катушках таким образом, чтобы исключить вибрацию. Общий якорь электромагнитных дисков жестко соединен с защищаемым основанием через шток. Шток является основной направляющей для якоря электромагнитного компенсатора жесткости.

Трехосный компенсатор жесткости снабжен системой перестройки [4]. Для математического описания представим ее в виде датчика относительного перемещения объектов, усилителя напряжения и компенсатора жесткости (КЖ), как показано на рисунке 2.

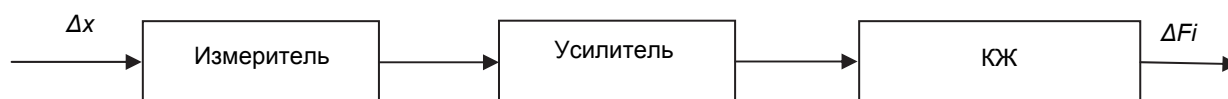


Рисунок 2 – Функциональная схема системы перестройки

Характеристику трехосного компенсатора жесткости в пространстве можно описать общим уравнением пространства

$$F(x; y; z) = 0. \quad (3)$$

Основываясь на (2) и (3) запишем силовую характеристику трехосного компенсатора в пространстве

$$a_n(x - x_0)^n + b_m(y - y_0)^m + c_k(z - z_0)^k + a_{n-2}(x - x_0)^{n-2} + b_{m-2}(y - y_0)^{m-2} + c_{k-2}(z - z_0)^{k-2} + \dots + a_1(x - x_0) + b_1(y - y_0) + c_1(z - z_0) = 0. \quad (4)$$

где n, m, k – нечетная степень;

$a_n, b_m, c_k, a_{n-2}, b_{m-2}, c_{k-2}, a_1, b_1, c_1$ – коэффициенты аппроксимации (учитывают конструктивные особенности трехосного компенсатора жесткости; величину подаваемого напряжения на катушки электромагнитов; величину межполюсного расстояния, зазора);

x_0, y_0, z_0 – координаты рабочей точки.

Уравнение (4) характеристики компенсатора жесткости это уравнение поверхности, представим его графически (рисунок 3).

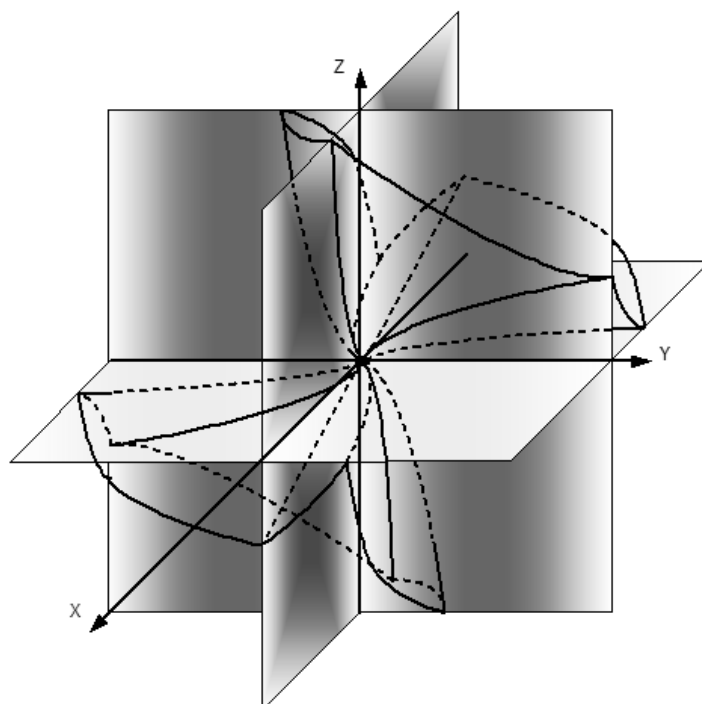


Рисунок 3 – Силовая характеристика трехосного электромагнитного компенсатора жесткости

Относительно каждой из осей силовая характеристика имеет свою жесткость, выражение которой можно получить из уравнения (4).

Для математического описания трехосного электромагнитного компенсатора жесткости опишем тяговую характеристику, показанную на рисунке 3, в рабочей точке более простыми уравнениями для плоскостей (x_0y , x_0z , y_0z):

– для плоскости x_0y , $z = z_0$

$$a_n(x - x_0)^n + b_m(y - y_0)^m + a_{n-2}(x - x_0)^{n-2} + b_{m-2}(y - y_0)^{m-2} + \dots + a_1(x - x_0) + b_1(y - y_0) = 0; \quad (5)$$

– для плоскости x_0z , $y = y_0$

$$a_n(x - x_0)^n + c_k(z - z_0)^k + a_{n-2}(x - x_0)^{n-2} + c_{k-2}(z - z_0)^{k-2} + \dots + a_1(x - x_0) + c_1(z - z_0) = 0; \quad (6)$$

– для плоскости y_0z , $x = x_0$

$$b_m(y - y_0)^m + c_k(z - z_0)^k + b_{m-2}(y - y_0)^{m-2} + c_{k-2}(z - z_0)^{k-2} + \dots + b_1(y - y_0) + c_1(z - z_0) = 0. \quad (7)$$

Уравнения (5)-(7) наглядно показывают силовые характеристики в плоскости, которые будут учтены для разработки программы трехосного компенсатора жесткости. Выведенные выражения станут дальнейшей основой для проектирования регуляторов и систем перестройки трехосных электромагнитных компенсаторов жесткости виброизолирующих устройств.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зуев, А.К. Высокоэффективная виброизоляция судового энергетического оборудования / А.К. Зуев, О.Н. Лебедев. - Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 1997. -119 с.
- 2 Гурова, Е.Г. Виброизолирующая подвеска судовой энергетической установки с нелинейным электромагнитным компенсатором жесткости: автореф. дис. ... канд. техн. наук / Гурова Елена Геннадьевна. -Новосибирск, 2008. -22 с.
- 3 Пат. 031010 Российская Федерация. Виброизолятор с электромагнитным компенсатором жесткости / Гурова Е.Г., Гросс В.Ю. -№2010121808/11; заявл. 28.05.10. -7 с.: ил.
- 4 Разработка пространственного виброизолирующего устройства: отчет по гос. контракту №9884p/14275 от 11.01.12 по прог. «УМНИК» / Гурова Елена Геннадьевна. -Новосибирск, 2012. -16 с.
- 5 Гурова, Е.Г. Трехмерный виброизолятор / Е.Г. Гурова // В мире науч. открытий. -Красноярск, 2011. -№2. -С. 182-183.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *трехосный компенсатор жесткости, вибрация*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Гурова Елена Геннадьевна, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Третьяков, А.В. Краузе

IMPROVE MANAGEMENT QUALITY ELECTRICITY IN THE DISTRIBUTION NETWORKS RAILWAYS

Omsk state transport university

E.A. Tretyakov, A.V. Krause

Proposed and implemented in the model management methods of the quality of electricity in the distribution cross-minute rail transport, based on the wide use of modern com-tion of the regulation and centralized automatic control.

Keywords: power quality, facilities management, optimization of parameters, smart grid

Предложены и реализованы на модели методы управления качеством электроэнергии в распределительной сети железнодорожного транспорта, основанные на широком применении современных средств регулирования и централизованных систем автоматического управления.

В настоящее время уровень технической оснащенности средствами обеспечения КЭ и снижения потерь в ОАО «РЖД» крайне низок. Метод регулирования напряжения на основе поддержания заданных графиков в контрольных пунктах сети не в состоянии обеспечить уровень напряжения с учетом всех предъявляемых требований.

Существующие распределительные сети выполнены в виде иерархических структур от источника к нагрузке, поэтому общепринятые способы регулирования напряжения в таких сетях при наличии источников генерации на стороне среднего (низкого) напряжения оказываются непригодными. Наличие источников генерации (в том числе накопителей энергии в активном режиме) приведет к возникновению уравнивающих токов и дополнительным потерям, поэтому идеология построения релейной защиты должна существенно измениться. Требуется управление объектами электроснабжения на основе реализации алгоритмов оптимизации параметров режима в реальном времени.

Совершенствование методов управления напряжением, реактивной мощностью и параметрами режима в распределительных электрических сетях железнодорожного транспорта на основе аппаратно-программных средств системы управления электропотреблением и КЭ позволит обеспечить:

а) повышение надежности электроснабжения и КЭ, снижение потерь, онлайн-мониторинг результатов управления параметрами режима в распределительных сетях по данным информационно-измерительных систем;

б) повышение эффективности использования данных с автоматизированных систем коммерческого учета электроэнергии (АСКУЭ) не только для определения электропотребления, но и для управления им (при развитии синхронных измерений);

в) возможность включения распределенной генерации на параллельную работу с сетью за счет управления режимами напряжения и параметрами генерации в месте подключения в реальном времени, в том числе с учетом графиков выработки и накопления энергии, графиков нагрузки потребителей.

Для математического моделирования установившийся режим системы электроснабжения предлагается описывать нелинейными уравнениями, связывающими мощности, напряжения и токи источников и нагрузок в матричной форме, составленными по методу узловых напряжений. Полученная система нелинейных уравнений для расчета установившегося режима решается итерационно методом Зейделя. Напряжение \dot{U} выражается через остальные параметры и рассматривается как рекуррентное. Нагрузка математически представлена с учетом статических характеристик по напряжению.

Предлагается задача оптимизации, заключающаяся в снижении потерь электроэнергии в распределительной сети железнодорожного узла за счет оптимального положения ответвлений РПН трансформаторов, значений реактивной мощности КУ, активной мощности накопителей и элементов распределенной генерации в узлах, изменения топологии сети с помощью коммутационных аппаратов. В качестве целевой функции приняты потери мощности

и отклонение напряжения с коэффициентами влияния.

Требуется найти такой вектор управляющих параметров S_{opt} и такой вектор параметров состояния Y_{opt} , чтобы целевая функция OF достигала экстремального значения при условии соблюдения ограничений на управляющие параметры и параметры состояния:

$$\begin{cases} OF(S_{opt}) \rightarrow \min; \\ S_{opt} = (K, L, M, G, A); \\ Y_{opt} = (U_j^{opt}, P_j^{opt}, Q_j^{opt}), j = 1, \dots, n; \\ OF = k_{\Delta P} \Delta P + k_{U_D} U_D, \end{cases}$$

- где K – вектор коэффициентов трансформации трансформаторов с РПН (номер отпайки);
- L – вектор проводимостей УПК в ветви;
- M – вектор реактивных мощностей КУ (целочисленные значения ступенчатого КУ);
- G – вектор активных мощностей распределенной генерации (со знаком «+») или накопителей энергии (со знаком «+», «-») в узле;
- A – вектор дополнительных проводимостей ветвей для имитации коммутационных аппаратов (0 или ∞);
- $k_{\Delta P}, k_{U_D}$ – коэффициенты влияния потери мощности в сети ΔP и отклонений напряжения, о.е. (0, 1 или по 0,5) [1].

Параметры состояния соответствуют уравнению установившегося режима.

Самые распространенные оптимизационные модели на основе линейного и нелинейного программирования не могут быть использованы из-за нелинейной целевой функции, целочисленных и смешанных переменных и необходимости учета логических условий. В качестве алгоритма оптимизации целевой функции предлагается применять генетический алгоритм [2, 3].

Представленный алгоритм реализован на тестовой задаче в Matlab Genetic Algorithm Tool. На первом этапе случайным образом в диапазоне допустимых значений переменной формируется начальная популяция:

- коэффициенты трансформации трансформаторов с РПН (номер отвлечения);

- проводимости УПК в ветвях сети; реактивные мощности КУ (целочисленные значения ступенчатого КУ);

- активные мощности распределенной генерации (в отличие от [4]) (со знаком «+») или накопителей энергии (со знаком «+», «-») в узлах.

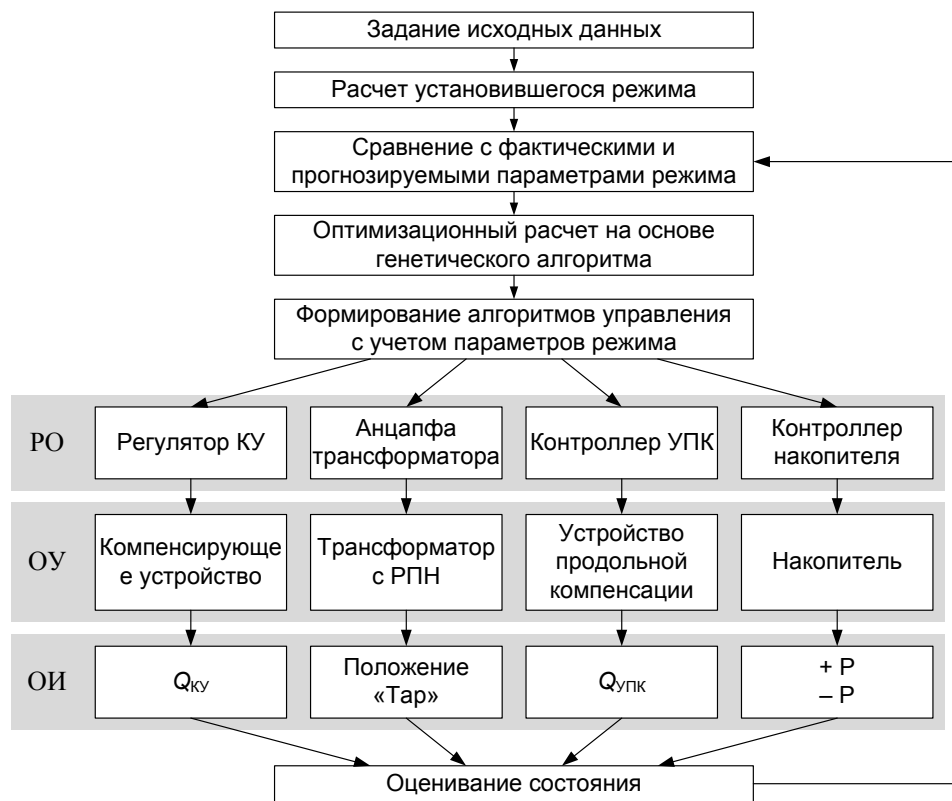


Рисунок 1 – Алгоритм управления объектами электроснабжения

На следующем этапе вычисляется значение приспособленности (целевой функции) для хромосом начальной популяции. Для учета ограничений целевой функции в каждом поколении производится расчет установившегося режима электрической сети. Далее реализуется

набор генетических операторов: отбор (методом турнирной селекции), скрещивание с вероятностью равной приспособленности, мутация (соответствует градиентному методу), расчет целевой функции и проверка условия окончания цикла (максимальное количество поколений). В конце расчета выбирается режим, для которого значение целевой функции имеет наилучшее значение и параметры которого удовлетворяют заданным требованиям.

В настоящее время основой управления параметрами режима является оперативно-диспетчерское управление, выполняемое энергодиспетчером или персоналом сетевых районов дистанций электроснабжения с помощью коммутационных аппаратов. Предлагаются усовершенствованные методы управления напряжением и реактивной мощностью распределительных сетей ОАО «РЖД» на базе активно-адаптивных технологий и аппаратно-программного комплекса оптимизации параметров режима в реальном времени по данным информационно-измерительных систем для выработки управляющих воздействий на объекты электроснабжения с высоким быстродействием. Разработанный алгоритм (рисунок 1) на основе оптимизации параметров режима позволяет формировать управляющие воздействия в виде оптимального вектора состояния на объекты системы электроснабжения.

Управляющие воздействия получены с учетом оценивания состояния сети, прогнозных значений графика нагрузки и ограничений на запаасаемую энергию в накопителях для управления в реальном времени.

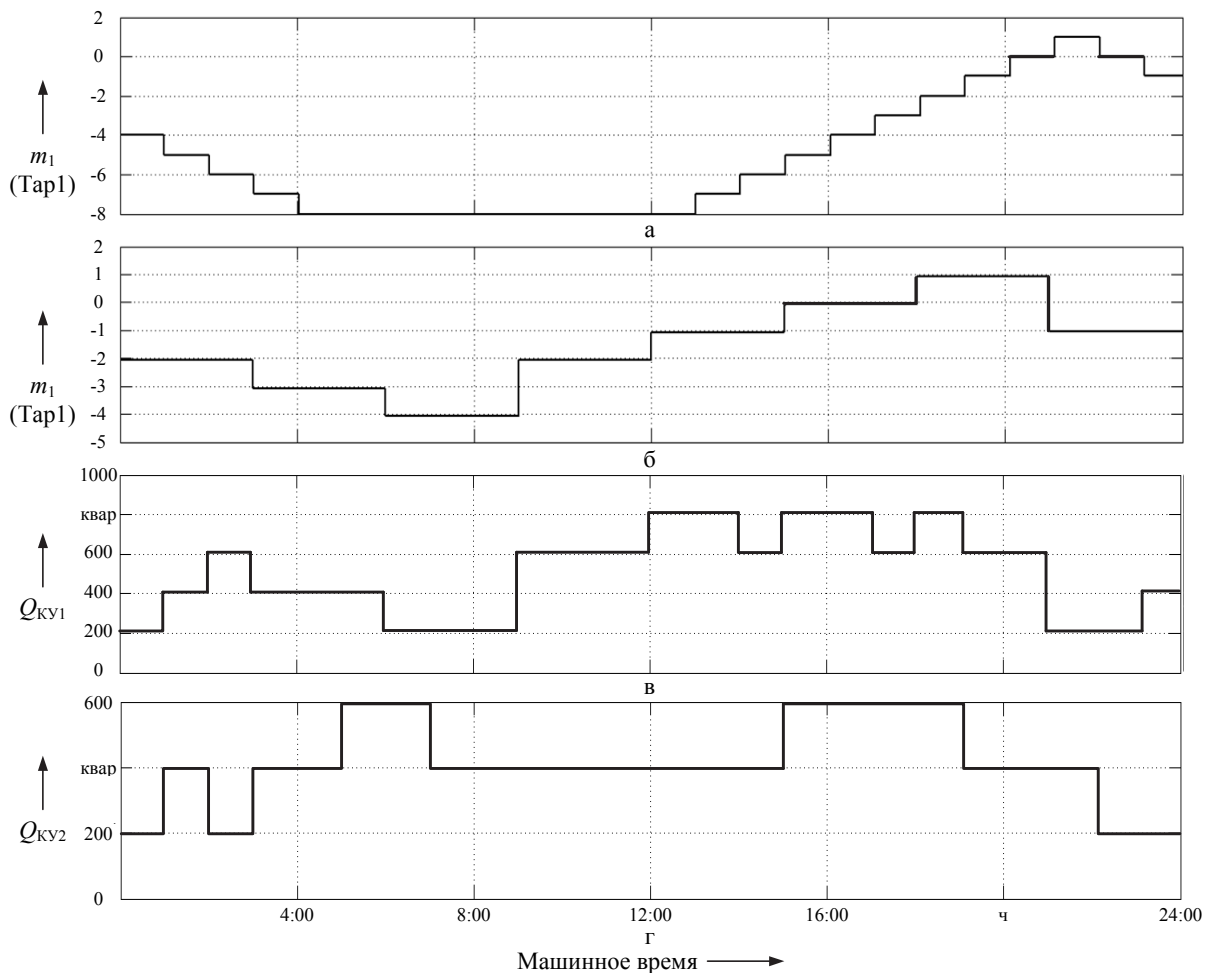


Рисунок 2 – Параметры работы объектов: а)-выбор положения РПН трансформатора T1; б)-выбор положения РПН трансформатора T2; в)-выбор мощности КУ SB1; г)-выбор мощности КУ SB2

Выполнена апробация предложенных методов управления напряжением и реактивной мощностью в распределительной сети Входнинской дистанции электроснабжения. Для решения задачи рассматриваемый участок распределительной сети был смоделирован в Matlab Simulink. Реализован алгоритм оптимизации режима с определением параметров состояния отпаек РПН понизительных трансформаторов и емкости ступенчатого КУ. Оптимизи-

зация режима выполнялась на часовом интервале с получением почасовых векторов состояния РПН трансформаторов и КУ (рисунок 2). Результаты моделирования на интервале расчетных суток свидетельствуют о снижении потерь мощности на рассматриваемом участке сети на 28%, среднеквадратичного отклонения напряжения – вдвое.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Morales, D. Optimal location of voltage regulators in radial distribution networks using genetic algorithms / D. Morales, R. Lopez // IEEE Trans. On Power Systems. -Vol.11, №3. -P. 387-392.
- 2 Suresh, R. Real Power Loss and Voltage Deviation Minimization by Reactive Power Control through Gravitational Search Algorithm / R. Suresh, C. Kumar, S. Sakthivel // Europ. J. of Sci. Research. -2012. -№1. -P. 36-48.
- 3 Lyubchenko, V.Ya. Electrical network optimization by genetic algorithm / V.Ya. Lyubchenko, D.A. Pavluchenko // Sci. Bull. of the Univ. of Pitesti. Ser. Electronic and Computer Science. -2008. -Vol.2. -P. 47-56.
- 4 Туликов, А.Н. Оптимизация состояний систем электроснабжения предприятий с помощью генетических алгоритмов / В.И. Пантелеев, А.Н. Туликов // Наука. Технологии. Инновации: материалы всерос. науч. конф. молодых ученых / НГТУ. - Новосибирск, 2006. -Ч.3. -С. 222-224.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество электроэнергии, управление объектами, оптимизация параметров, интеллектуальная сеть*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Третьяков Евгений Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
 Краузе Андрей Викторович, преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

РАЗРАБОТКА ВАРИСТОРОВ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Омский институт водного транспорта, филиал ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ОАО «Тюменьэнерго»
 ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»
 ЗАО «ФЕНИКС-88»

М.Н. Иванов, Г.А. Данилов, В.Г. Боровицкий, Г.Р. Манчук, М.В. Рябов, А.Г. Данилов

DEVELOPMENT OF VARISTORS FOR NONLINEAR OVERVOLTAGE
 Omsk institute of water transport, branch Novosibirsk state academy of water transport
 Novosibirsk state academy of water transport
 Tyumenenergo
 Novosibirsk state university of architecture and civil engineering
 PHOENIX-88
 M.N. Ivanov, G.A. Danilov, V.G. Borivitsky, G.R. Manchuk, M.V. Ryabov, A.G. Danilov

The list of composite resistors with nonlinear symmetric volt-ampere characteristics is provided. The review of productions of varistors and limiters of retension nonlinear for multiphase electric chains is given.

Keywords: nonlinear limiter of an overstrain, varistor, volt-ampere characteristic, power supply, resistors, technology, conductivity, oxides of metals

Приведён перечень композиционных резисторов с нелинейными симметричными вольт-амперными характеристиками. Дан обзор производств варисторов и ограничителей перенапряжений нелинейных для многофазных электрических цепей.

При рассмотрении классификации непроволочных резисторов необходимо отметить бурный рост нелинейных резисторов объёмного типа (рисунок 1) на основе силикатных, органических и др. связок с электропроводными наполнителями (углеродистыми, металлическими, из оксидов металлов и сплавов) [1-2].

Из основных параметров резистивных композиционных материалов (РКМ) наиболее важными являются электрофизические характеристики (таблица 1). Типичным для изделий из РКМ является общий ход нелинейных симметричных вольт-амперных кривых. В качестве примера схематично приведём вольт-амперную характеристику варистора (рисунок 2) [3].

Электрическое сопротивление в рабочей точке K определяется как

$$R_K \frac{U_K}{I_K}.$$

Дифференциальное сопротивление R_d равно dU/dI . Отношение

$$\frac{R_k}{R_d} = \frac{U_k}{I_k} \frac{dI}{dU} = \alpha \quad (1)$$

называют коэффициентом нелинейности сопротивления. Обычно при использовании варисторов желательно, чтобы он был как можно больше.

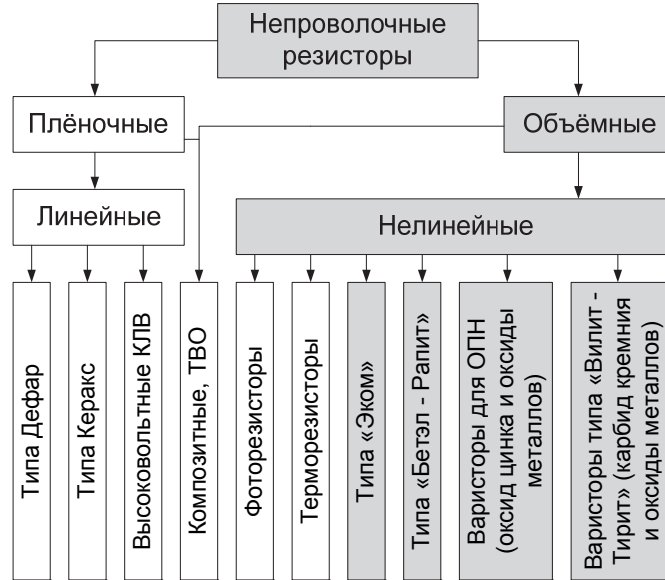


Рисунок 1 – Классификация непроволоочных композиционных резисторов

Таблица 1 – Основные параметры резистивных композиционных материалов разных фирм производителей

| Показатель | Бетэл | Тирит, Вилит | Линейные керамические сопротивления (ЛКС) | Morganite |
|--|-----------|--------------|---|-----------|
| Удельная теплоёмкость $\times 10^{-3}$, кДж/(кг·К) | 0,9-0,96 | 0,63-0,75 | 0,98 | 0,63-1,25 |
| Теплопроводность, Вт/(м·К) | 0,52-2,9 | 0,084-4,2 | 3,8 | 0,65-4,19 |
| Разрушающее напряжение, МПа | 10-40 | 40-50 | 50 | 50 |
| Плотность $\times 10^{-3}$, кг/м ³ | 1,6-2,2 | 2,0-2,4 | 2,5 | 2,0-2,5 |
| Допустимая температура кратковременного (до 3 с) перегрева, К | 433 | 493 | 523 | 523 |
| Удельное сопротивление $\times 10^4$, Ом·м | 1-5 | 1-10 | 5-50 | 4-25 |
| Допустимая напряженность электрического поля $\times 10^4$, В/м | 2-10 | 8-10 | 3-10 | 2,4-20 |
| Допустимая плотность тока $\times 10^{-4}$, А/м ² | 0,01-100 | 0,1-100 | – | – |
| Коэффициент нелинейности | 0,65-0,98 | 0,15-0,35 | 0,75-0,98 | 0,8-0,98 |
| Коэффициент напряжения, % | 5-10 | – | 10-50 | 10-60 |
| Удельная энергия рассеяния $\times 10^6$, Дж/м ³ | 150 | 150 | 140 | 160 |
| Температурный коэффициент сопротивления $\times 10^{-4}$, К | -(7-30) | -(20-35) | – | -(10-15) |

*-при частоте 50 Гц

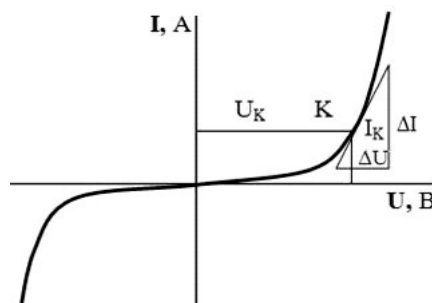


Рисунок 2 – Схематичная вольт-амперная характеристика

Предполагая, что α не зависит от рабочей точки, получим

$$A = \frac{dI}{dU} \frac{U}{I}, \quad (2)$$

$$\int \frac{dI}{I} = \alpha \int \frac{dU}{U}, \quad (3)$$

$$\ln \frac{I}{I_0} = \alpha \ln \frac{U}{U_0}, \quad (4)$$

$$\frac{I}{I_0} = \left(\frac{U}{U_0} \right)^\alpha. \quad (5)$$

где I_0 – некоторый базовый ток;

U_0 – напряжение, соответствующее этому току.

Коэффициент нелинейности может быть определён через параметры двух соседних точек вольт-амперной характеристики 1 и 2

$$\alpha = \frac{\ln(I_2/I_1)}{\ln(U_2/U_1)} = \frac{\ln(I_2/I_0) - \ln(I_1/I_0)}{\ln(U_2/U_0) - \ln(U_1/U_0)}. \quad (6)$$

Название «варистор» образовано от английского выражения variable resistor (переменный резистор) или существует сокращение VDR (voltage dependent resistor), т.е. сопротивление зависящее от напряжения). К варисторным элементам относят приборы на основе карбида кремния (SiC) и оксида цинка (ZnO) с симметричной вольт-амперной характеристикой.

Основоположник металлооксидных резисторов (варисторов) Валеев Х.С. отмечал: «Представляется по-своему удивительным тот факт, что наиболее очевидный нелинейный эффект – симметричная нелинейная вольт-амперная характеристика (ВАХ), обнаруженная вслед за своим антиподом – законом Ома (1826 г.) полтора века назад (Мунк, 1835 г.), нашла применение лишь в последние десятилетия» [4]. Поэтому бурный рост разработок гетерогенных объёмных резисторов из композиционных материалов (бэтэл, рапит, эком, вилит и др.) и, в частности, металлооксидных варисторов (МОВ), свидетельствует о «обратных связях в истории полупроводниковой техники» [2-9].

Одной из первых публикаций по исследованиям нелинейных ВАХ оксида цинка (ZnO) в контакте со стальной иглой, графитом и т.п. явилась работа Лосева О.В. (1924 г.), выполненная в нижегородской радиолaborатории [4]. Значительных успехов в разработке варисторов на основе оксида цинка с добавками оксидов ряда металлов добились в Государственном исследовательском электрокерамическом институте (ГИЭКИ), что позволило начать опытно-промышленное производство варисторов в стране [15-20]. В это же время стали выпускать японские варисторы ZNR фирмой «Мацуста электрик», американские варисторы GEMOV фирмой «Дженерал электрик», немецкие варисторы SIOV фирмы «Сименс» [4].

К началу 20-х годов XXI века производство варисторов и ограничителей перенапряжений нелинейных (ОПН) на их основе было освоено рядом российских предприятий: ЗАО «Феникс-88» (г. Новосибирск); ООО «Балтэнерго», НПО «Дельта», заводе «Пролетарий» (г. Санкт-Петербург); Санкт-Петербургский политехнический университет [13-16].

В широком диапазоне изменения плотности тока (несколько порядков – от 1 до 1000 А/см²) напряжение на варисторах изменяется незначительно – примерно на 30%. Такие материалы позволили создать принципиально новые защитные аппараты – нелинейные ограничители перенапряжений или, согласно международной терминологии, – «metal oxide arresters». Отличительной особенностью этих аппаратов является отсутствие в них искровых промежутков, предотвращающих протекание тока через колонки варисторов при рабочем напряжении, как это практиковалось при создании разрядников на основе карбида кремния. И лишь при значительном повышении напряжения на колонке варисторов сверх наибольшего рабочего напряжения ОПН ток через варисторы начинает быстро нарастать, ограничивая повышение напряжения на линиях или на подстанциях, где ОПН установлены. Это обстоятельство позволяет ставить колонку варисторов в ОПН непосредственно под рабочее напряжение, при котором ток через варисторы составляет доли миллиампера, и обеспечивает значительно более эффективное воздействие ОПН на переходные электромагнитные процессы в электрических сетях и, соответственно, более глубокое ограничение перенапряжений [2,16].

При воздействии рабочего напряжения ОПН обеспечивается тепловой баланс варисто-

ров: выделяемая в них теплота при протекании такого малого тока рассеивается в окружающее пространство, исключая сколько-нибудь значительное повышение температуры окружающей среды. Обеспечение теплового баланса в ОПН при длительном воздействии рабочего напряжения является одной из важнейших задач конструкторов ОПН [16-20].

Так предложена полезная модель устройства защиты от перенапряжений высоковольтной линии от грозовых перенапряжений, вызывающих перекрытие подвесной изоляции (рисунок 3).

Устройство содержит последовательное соединение внешнего искрового промежутка L с нелинейным сопротивлением 1 в виде колонки варисторов в изоляционном корпусе, имеющем по торцам металлические фланцы 2 и 3. Фланец 2 соединен с устройством подвеса 4, а фланец 3 присоединен к внешнему искровому промежутку L . В устройстве защиты от перенапряжений высоковольтной линии электроды внешнего искрового промежутка выполнены в виде тороидов 5 и 6 жестко смонтированных соосно один против другого на изоляторе 7 с образованием фиксированного внешнего искрового промежутка L . Тороид 5 электрически соединен с металлическим оконцевателем 8 изолятора 7, а оконцеватель 8 соединен с помощью шарнира 9 с фланцем 3 нелинейного сопротивления. Тороид 6 электрически соединен с металлическим оконцевателем 10 изолятора 7, а оконцеватель 10 соединен посредством арматуры 11 с высоковольтным проводом 12. Высоковольтный провод 12 подвешен к траверсе 13 высоковольтной опоры с помощью подвесного изолятора 14 (промежуточная опора). Шарнир 9 допускает качание изолятора 7 как в вертикальной плоскости, так и в горизонтальной плоскости, отслеживая «пляску и качание» высоковольтного провода 12 под воздействием ветра.

Кроме механических соединений элементы устройства защиты от перенапряжений соединены электрическими переключками 15 и 16 для гарантированного обеспечения цепи разряда при грозовых перенапряжениях.

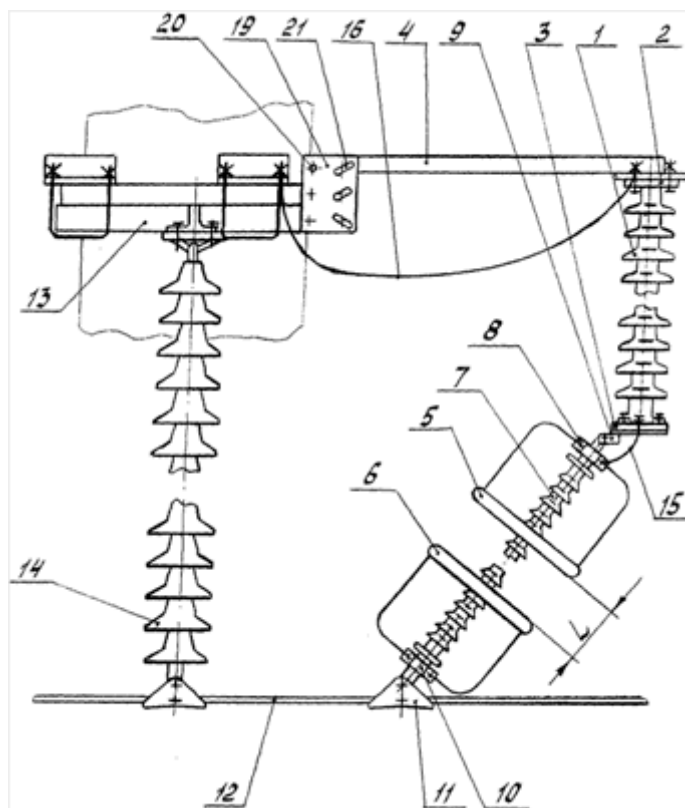


Рисунок 3 – Устройство защиты от перенапряжений линий электропередачи [20]

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электроснабжение транспортных объектов. В 2 кн. Кн.1. Водный транспорт с комбинированными электроисточниками: учеб. пособие / М.Н. Иванов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2012. -299 с.
- 2 Электроснабжение транспортных объектов. В 2 кн. Кн.2. Электротранспорт и промышленные предприятия: учеб. пособие / В.П. Горелова [и др.]; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2012. -378 с.
- 3 Аморфные и кристаллические полупроводники: пер. с нем. / В. Хейванг, [и др.]; под ред. В. Хейванга. -М.: Мир, 1987. - 160 с.
- 4 Валеев, Х.С. Нелинейные металлооксидные полупроводники / Х.С. Валеев, Б.В. Квасков. -М.: Энергоиздат, 1983. -169 с.
- 5 Режим доступа: <http://www.bel-resistor.ru>. -11.02.2013 г.
- 6 Режим доступа: <http://www.pnpbolid.com/ru>. -11.02.2013 г.
- 7 Режим доступа: <http://www.nsawt.ru>. -11.02.2013 г.
- 8 Режим доступа: <http://www.altgtu.ru>. -11.02.2013 г.
- 9 Сарин, Л.И. Средства и методы ограничения внутренних перенапряжений в сетях 6-35 кВ / Л.И. Сарин, Н.И. Емельянов, М.В. Ильиных // Энергетик. -2011. -№10. -С. 6-13.
- 10 Косман, М.С. О возможности изготовления симметричных варисторов из окиси цинка с примесью окиси висмута / М.С. Косман, Э.Г. Пешцольд // Учен. зап. Ленингр. гос. педаг. ин-та. -1961. -Т.207. -С. 191-197.
- 11 Валеев, Х.С. Нелинейные полупроводники на основе ZnO-TiO2 / Х.С. Валеев, М.Д. Машкович // Журн. техн. физики. - 1957. -Т.27, Вып.8. -С. 1649-1651.
- 12 Валеев, Х.С. Нелинейные полупроводниковые сопротивления на основе окислов цинка, кремния и олова / Х.С. Валеев, В.А. Князев, Н.Г. Дроздов // Электричество. -1964. -№4. -С. 72-76.
- 13 Режим доступа: <http://www.fenix88.ru>. -11.02.2013 г.

14 Режим доступа: <http://www.baltenergo.spb.ru>. -11.02.2013 г.

15 Режим доступа: <http://www.zaokurs.ru>. -11.02.2013 г.

16 Пат. 2193268 Российская Федерация, МПК7 H02H 9/06, H01T 1/16. Устройство защиты от перенапряжений многофазных цепей / Г.А. Данилов, А.П. Заболотников, В.М. Сухар (RU); патентообладатель ЗАО «Феникс-88» (RU). -№20011108481/09; заявл. 29.03.2001; опубл. 20.11.2002. -3 с.

17 А.с. 12486 Российская Федерация, МПК7 H01C 7/12. Устройство для защиты от перенапряжений / Г.А. Данилов, А.П. Заболотников, В.Г. Табатчиков, В.А. Девочкина, В.Г. Сяков (RU); патентообладатель ЗАО «Феникс-88» (RU). -№99119280/20; заявл. 06.09.99; опубл. 10.01.00. -2 с.

18 А.с. 13720 Российская Федерация, МПК7 H01C 7/12. Устройство для защиты от перенапряжений / Г.А. Данилов, А.П. Заболотников, В.Г. Табатчиков, В.Г. Сяков, В.В. Власов (RU); патентообладатель ЗАО «Феникс-88» (RU). -№99123685/20; заявл. 09.11.99; опубл. 10.05.00. -5 с.

19 Пат. 81843 Российская Федерация, МПК H01C 7/12. Устройство для защиты от перенапряжений / Г.А. Данилов, В.В. Власов, А.О. Малышкин, В.Г. Табатчиков, В.М. Сухар (RU); патентообладатель ЗАО «Феникс-88» (RU). -№2008142476/22; заявл. 27.10.08; опубл. 27.03.09. -11 с.

20 Пат. 85040 Российская Федерация, МПК H02H 9/06. Устройство для защиты от перенапряжений высоковольтных линий (варианты) / Г.А. Данилов, В.Г. Боровицкий, Ю.Е. Лошаков, В.В. Власов, А.С. Зубков, В.М. Сухар (RU); патентообладатель ЗАО «Феникс-88» (RU). -№2008149550/22; заявл. 15.12.08; опубл. 20.07.09. -10 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *нелинейный ограничитель перенапряжения, варистор, вольт-амперная характеристика, электроснабжение, резисторы, технология, электропроводность, оксиды металлов*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Иванов Михаил Николаевич, канд. техн. наук, докторант ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*Данилов Геннадий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Боровицкий Василий Геннадьевич, зам. главного инженера ОАО «Тюменьэнерго»
Манчук Глеб Русланович, ведущий инженер ФГБОУ ВПО «НГАСУ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *Рябов Максим Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Данилов Александр Геннадьевич, инженер ЗАО «ФЕНИКС-88»
644099, г. Омск, ул. И. Алексеева, 4, ОИВТ, филиал ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

*630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
628412, Тюменская область (ХМАО-Югра), г. Сургут, ул. Университетская, 4, ОАО «Тюменьэнерго»*

*630008, г. Новосибирск, ул. Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»
630088, г. Новосибирск, а/я 279, ЗАО «ФЕНИКС-88»*

СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МЕРОПРИЯТИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

ЗАО «ФЕНИКС-88»

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

А.Г. Данилов, Г.А. Данилов, О.Н. Духновская, В.В. Солодская, М.А. Кручинин, Г.Р. Манчук

SYSTEM APPROACH TO THE ANALYSIS OF ACTIVITIES THAT INCREASE THE RELIABILITY OF POWER FACILITIES PHOENIX-88

**Novosibirsk state academy of water transport
Novosibirsk state university of architecture and civil engineering
A.G. Danilov, G.A. Danilov, O.N. Duhnovskaja, V.V. Solodskaja, M.A. Kruchinin, G.R. Manchuk**

Given the decomposition of the power supply system of the complex elements of determining the reliability of its work. Given the method of non-destructive control of products of the resistance of composite materials.

Keywords: system approach, electricity, reliability, system analysis of the activities, resistors, technology, electrical conductivity, electric power system

Приводится декомпозиция системы электроснабжения на сложные составляющие элементы определяющих надёжность её работы. Дается методика неразрушающего контроля изделий из резистивных композиционных материалов.

Надёжность работы электроэнергетических объектов является основным в комплексе предъявляемых к ним требований. Число аварий и связанный с ними недоотпуск электроэнергии приводят в отдельных случаях к значительным ущербам, что, в свою очередь, снижает экономические показатели как поставщика, так и потребителя электроэнергии. Поэтому оценка надёжности отдельных элементов и систем электроснабжения (СЭС) в целом, а также поиск возможных направлений повышения надёжности как в ходе эксплуатации, так при проектировании, становятся первоочередными задачами.

С другой стороны, оценив ущерб, нанесённый потребителям от перерывов в электро-

снабжении, убытки, вызванные аварийным ремонтом, а также затраты, связанные с повышением надёжности, можно ставить вопрос об оптимальном уровне надёжности СЭС.

При оценке и расчёте надёжности должны учитываться следующие факторы:

- внешние условия;
- уровень эксплуатации;
- качество заводского изготовления;
- качество профилактического обслуживания;
- организация аварийных ремонтов и противоаварийных мероприятий;
- система учёта информации об эксплуатационной надёжности.

При проведении анализа надёжности все нарушения подлежат расследованию.

Природно-климатические условия, присущие, в основном, южному району Западной Сибири предъявляют высокие требования к надёжности систем электроснабжения. В регионе, преимущественно в весенне-летний период часто наблюдаются пыльные бури результатом которых является нанос солончаковой и другой пыли на поверхность изоляции подстанций и линий электропередачи.

Общим свойством загрязнений является сыпучесть, чем обусловлен неравномерный характер загрязнения по поверхности изоляции. Кроме того, в связи с длительным устойчивым направлением ветра в одну сторону часто загрязняется наветренная сторона изоляции.

Система электроснабжения (СЭС) есть совокупность устройств передачи и распределения электроэнергии, называемых элементами. При этом под элементами понимаются не только физические объекты, такие как генератор, трансформатор, линии электропередачи (ЛЭП), кабельные линии (КЛ), распределительные устройства (РУ) и др., но и электростанции, подстанции, отдельные части системы электроснабжения.

Она состоит из сложных элементов объединённых в отдельные группы и взаимосвязанных в ходе технологического процесса, основная цель которого – надёжное электроснабжение потребителей, что в целом зависит от надёжности работы отдельных элементов СЭС [2-4].

Подразделение на «элемент» и «систему» при расчётах надёжности носит условный характер, и, в зависимости от решаемой задачи, одни и те же физические объекты или их совокупности могут рассматриваться и как «система», и как «элемент».

При анализе её надёжности СЭС выступает в качестве сложной системы. В свою очередь элементы СЭС (ЛЭП, КЛ, РП, РУ) могут быть рассмотрены как системы при самостоятельном анализе их надёжности.

Такой подход получения упрощённых расчётных схем объединяют термином «эквивалентирование электрических систем», что позволяет существенно снизить затраты на решение поставленной задачи [1].

Понятие надёжности наиболее полно раскрыто в определении: надёжность – свойство объекта выполнять требуемые функции в заданном объёме при определённых условиях функционирования. Здесь на надёжность накладываются ограничения во времени в условиях функционирования. Надёжность выступает в роли функциональной категории качества. Представляется возможным рассмотреть это понятие как множество заданных функций объекта, например СЭС, которые имеют ограничения во времени и в условиях функционирования.

Перечень состояний и событий, характеризующих надёжность объектов систем электроснабжения, приведён на рисунке 1.

Системный анализ предусматривает разработку моделей процесса функционирования электрических сетей. Целью моделирования является выявление закономерностей аварий и разработка предупреждающих мероприятий на основе обнаруженных закономерностей. При этом реализация противоаварийных мероприятий рассматривается как процесс управления состоянием электрической сети, что предполагает наличие моделей [11].

Электрические сети населённых пунктов как объекты управления представляются достаточно сложными. Обширность занимаемой территории, например, современного города и, как следствие, большая протяжённость подземных токопроводов, сложная иерархия потребителей, огромное число составных элементов сети, насыщенной средствами автоматики, динамично изменяющиеся в году и в течение суток режимы потребления, широкий спектр возможных аварийных ситуаций и многочисленные другие факторы не позволяют пока исключить человека, как активного элемента контура управления.

Это последнее обстоятельство принципиально отличает городскую электрическую сеть

как объект управления от систем, к которому применим хорошо разработанный и удобный аппарат математического моделирования.

Конечным результатом (продуктом) любой эксплуатации должно быть достижение определённой цели. Цели эксплуатации городской электрической сети представлены в виде модели на структурной схеме (рисунок 2).

На рисунках 2 и 3 показаны глобальная цель, целепоглощающие системы, состав исследуемой системы, управленческие функции и имеющиеся связи между элементами.

Подчеркнём, что в большинстве энергетических устройств в качестве активной нагрузки применяются различного типа резисторы, например, металлические и из резистивных композиционных материалов (РКМ) на основе силикатных, полимерных или фосфатных связок (рисунок 3) [2-4, 12]. К ним относятся резисторы из Бетэла, Рапита, Экома, Вилита, Тирита и др. (рисунок 4).



Рисунок 1 – Классификация событий, характеризующих надёжность объектов систем электроснабжения

Экспериментально доказано, что отказ резисторов на РКМ при воздействии импульсного напряжения происходит либо в результате пробоя в поверхностном слое 80-90% всех отказов, либо пробоев в объёме резистивных элементов или их механического разрушения 10-20% [4, 12]. Пробой резистивного элемента обусловлен электротепловыми явлениями в объёме РКМ и связан с характером его внутренней структуры. Известно, что распределение температуры в объёме материала при коротковременных воздействиях 0,01-0,5 с импульсов тока определяется неоднородностью распределения электропроводного компонента. При этом на отдельных участках РКМ с повышенной проводимостью может происходить локализация электрического тока и тепловой

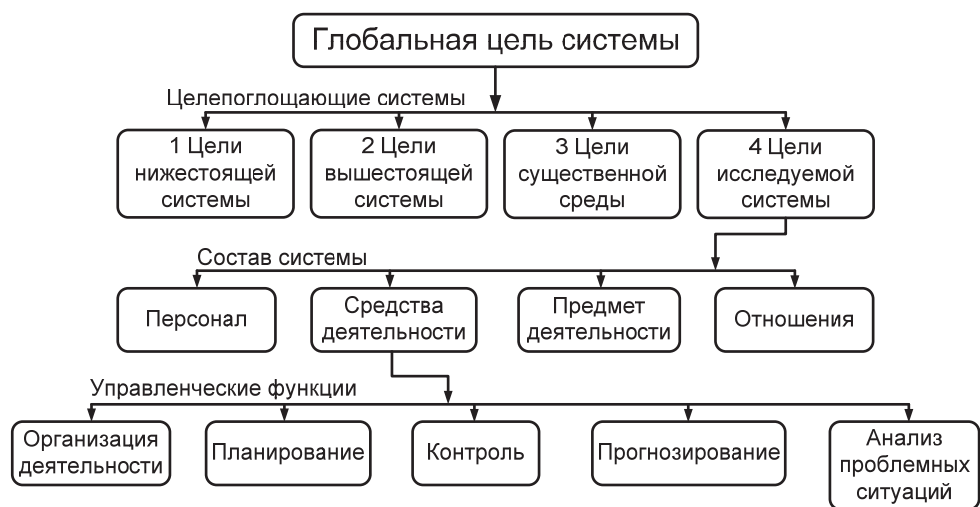


Рисунок 2 – Структурная схема процесса эксплуатации

обусловлен электротепловыми явлениями в объёме РКМ и связан с характером его внутренней структуры. Известно, что распределение температуры в объёме материала при коротковременных воздействиях 0,01-0,5 с импульсов тока определяется неоднородностью распределения электропроводного компонента. При этом на отдельных участках РКМ с повышенной проводимостью может происходить локализация электрического тока и тепловой

энергии. Так как РКМ обладает отрицательным коэффициентом сопротивления, то интенсивное и неравномерное нагревание материала может привести к развитию в нём неустойчивости теплового характера. В условиях воздействия на резисторы высокого напряжения тепловая неустойчивость завершается его пробоем (тепловой пробой 1-го рода).



Рисунок 3 – Дерево целей системы электроснабжения потребителей

Таким образом, неоднородность структуры РКМ является причиной, обуславливающей электротепловой вид отказа композиционных резисторов. В этой связи выявление дефектов структуры РКМ может быть положено в основу прогнозирования надёжности работы резисторов как элементов электроэнергетической системы на стадии изготовления. Для контроля неоднородности структуры композиционных материалов разработан ряд экспериментальных методов, в том числе применение ультразвуковых приборов, тепловизоров, устройств, основанных на резонансных методах измерения. Однако они имеют недостатки, связанные с малой разрешающей пространственной способностью и тем, что изменение параметра (плотности материала) часто лежит в пределах ошибки измерения прибора. В некоторых случаях для проведения контроля плотности необходимо выпиливать из изделий образцы строго определённой формы.

Устранить указанные выше недостатки стало возможным в результате применения новых прогрессивных методов исследования структуры материалов. Происходит интенсивное внедрение компьютерной томографии в дефектоскопию и микроскопию рентгеновского излучения, γ -излучения, излучения быстрых нейтронов длинноволнового электромагнитного спектра. Использование указанных способов позволяет проводить диагностику композиционных материалов с пространственным разрешением до $15 \cdot 10^{-6}$ м максимальных размерах изделий до 0,3 м. Так, весьма качественную и количественную оценку относительной плот-

ности композиционных материалов и конструкций на их основе диаметром до 0,15 м можно проводить, например, на вычислительном рентгеновском томографе типа СРТ-1010 или других типах томографов.



Рисунок 4 – Целепоглощающая нижестоящая система технологий изготовления изделий из резистивных композиционных материалов [4]

Полезность приведённых моделей заключается в том, что они позволяют добиться однозначности в понимании целей эксплуатации систем электроснабжения, формализовать и анализировать процесс эксплуатации, выделить глобальную цель и частные подцели процесса эксплуатации, установить взаимосвязи между ними. Всё это способствует поиску оптимальных противоаварийных мероприятий [4, 11, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Яшков, В.А. Надёжность функционирования систем электроснабжения / В.А. Яшков, Г.Г. Трофимов, Д.Н. Турганов. - Алматы: Ғылым, 2001. -128 с.
- 2 Электроснабжение транспортных объектов. В 2 кн. Кн.1. Водный транспорт с комбинированными электроисточниками: учеб. пособие / М.Н. Иванов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2012. -299 с.
- 3 Электроснабжение транспортных объектов. В 2 кн. Кн.2. Электротранспорт и промышленные предприятия: учеб. пособие / В.П. Горелова [и др.]; под ред. В.П. Горелова, В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2012. -378 с.
- 4 Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2008. -424 с.
- 5 Режим доступа: <http://www.bel-resistor.ru>. -11.02.2013 г.
- 6 Режим доступа: <http://www.pnpolid.com/ru>. -11.02.2013 г.
- 7 Режим доступа: <http://www.nsawt.ru>. -11.02.2013 г.
- 8 Режим доступа: <http://www.altgtu.ru>. -11.02.2013 г.
- 9 Сарин, Л.И. Средства и методы ограничения внутренних перенапряжений в сетях 6-35 кВ / Л.И. Сарин, Н.И. Емельянов, М.В. Ильиных // Энергетик. -011. -№10. -С. 6-13.
- 10 Кадомская, К.П. Ограничение перенапряжений в сетях, содержащих автономные источники напряжения и сетях генераторного напряжения / К.П. Кадомская, Н.Ф. Петрова // Труды 4 Всероссийской научно-технической конференции «Ограничение перенапряжений. Режимы заземления нейтрали. Электрооборудование сетей 6-35 кВ», Новосибирск, 26-28 сент. 2006 г. -Новосибирск, 2006. -С. 84-90.
- 11 Мусин, А.Х. Системы электроснабжения городов: технология ресурсосберегающего обслуживания по реальной потребности / А.Х. Мусин. -Барнаул: АлтГТУ, 1999. -143 с.
- 12 Горелов, В.П. Композиционные резисторы для энергетического строительства / В.П. Горелов, Г.А. Пугачёв. -Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1989. -216 с.
- 13 Валеев, Х.С. Нелинейные металлооксидные полупроводники / Х.С. Валеев, Б.В. Квасков. -М.: Энергоиздат, 1983. -169 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системный подход, электроснабжение, надёжность, системный анализ мероприятий, резисторы, технология, электропроводность, электроэнергетическая система

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Данилов Александр Геннадьевич, инженер, ЗАО «ФЕНИКС-88»
 Данилов Геннадий Александрович, аспирант, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Духновская Ольга Николаевна, аспирант, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Солодская Валентина Владимировна, аспирант, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Кручинин Максим Анатольевич, аспирант, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 Манчук Глеб Русланович, ведущий инженер, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630088, г.Новосибирск, а/я 279, ЗАО «ФЕНИКС-88»
 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
 630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ LABVIEW

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
 ФГБОУ ВПО «Сибирская государственная автомобильно-дорожная академия»

Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, Е.Ю. Руппель

DEVELOPMENT OF SOFTWARE FOR PROCESSING THE RESULTS OF EXPERIMENTAL STUDIES OF STEADY VOLTAGE DEVIATION BY MEANS OF LABVIEW

Novosibirsk state academy of water transport
 Siberian state automobile and highway academy
 Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, E.Yu. Ruppel

Proposed software for processing the results of experimental studies of the steady-state voltage deviation by means of LabVIEW. The method of determining the conducted electromagnetic interference.

Keywords: the steady-state voltage deviation, transformer substation, a software product, the quality of electric power, quantile

Предложено программное обеспечение для обработки результатов экспериментальных исследований установившегося отклонения напряжения средствами LabVIEW. Рассмотрена методика определения кондуктивной электромагнитной помехи.

Отклонение напряжения характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения δU_y , для которого установлены согласно ГОСТ 13109-97 нормы:

- нормально допустимое значение установившегося отклонения напряжения на выводах приемников электрической энергии равно $\pm 5\%$ от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 721 и ГОСТ 2118;
- предельно допустимые нормы установившегося отклонения напряжения равно $\pm 10\%$.

Качество электрической энергии по установившемуся отклонению напряжения в точке общего присоединения к электрической сети считают, если 95% значений δU_y от всех измеренных, за каждую минуту в течение 24 ч, значений δU_y находятся в интервале ограниченном нормально допустимыми значениями [1].

Удобным способом обработки результатов при исследовании электромагнитной обстановки в электрических сетях и измерении показателей качества электрической энергии (ПКЭ) являются статистические методы. Большинство выпускаемых приборов анализаторов качества электрической энергии не имеют специализированного программного обеспечения для статистического анализа ПКЭ. Совместно с ИВК «ОМСК-М» поставляется программный продукт «Stat», возможности которого ограничены для анализа показателей качества [2, 4].

Известна методика определения кондуктивной электромагнитной помехи (ЭПМ) по установившемуся отклонению напряжения, которая может быть представлена математической моделью [3]

$$\delta U_y \left[\begin{array}{l} P(\delta U_{y,n} \leq \delta U_y \leq \delta U_{y,n}) + P(\delta U_{y,n} \leq \delta U_y \leq -\delta U_{y,n}) > 0,05; \\ P(\delta U_{y,n} \leq \delta U_y < \infty) + P(\infty < \delta U_y \leq \delta U_{y,n}) \neq 0 \end{array} \right] \subset \delta U_n, \quad (1)$$

где $\delta U_{y,n}$ – нормально допустимое значение установившегося отклонения напряжения, 0,05;

$\delta U_{y,n}$ – предельно допустимые нормы установившегося отклонения напряжения, 0,1;

δU_n – кондуктивная ЭМП по установившемуся отклонению напряжения в электрической сети.

Для разработки специализированного программного обеспечения была выбрана среда графического программирования LabVIEW [5]. Разработанный программный продукт предназначен для обработки результатов экспериментальных исследований установившегося отклонения напряжения в электрических сетях и проверки на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97.

Для оценки возможностей программы по обработке статистических данных эксперимента, в качестве объекта исследований была выбрана трансформаторная подстанция №2 (ТП-2) «Омского судостроительно-судоремонтного завода». На ТП-2 установлен трансформатор мощностью по 630 кВА напряжением 10/0,4 кВ. Измерения проводились в течение 24 ч на низковольтной обмотке с номинальным напряжением 400 В.

Для проведения исследования использовался прибор ИВК «ОМСК-М». Полученные данные измерений предлагается экспортировать в документ Microsoft Excel (формат CSV), либо в текстовый документ с разделителями табуляции (формат TXT). Вид файла данных, необходимых для обработки в программе представлен на рисунке 1.

| Файл | Правка | Формат | Вид | Справка |
|--------|--------|--------|-----|---------|
| 402,94 | 407,36 | 404,61 | | |
| 405,12 | 395,98 | 390,06 | | |
| 409,63 | 412,86 | 407,9 | | |
| 410,22 | 413,09 | 409,14 | | |
| 406,92 | 409,03 | 407,94 | | |
| 411,05 | 413,27 | 412,26 | | |
| 406,64 | 408,6 | 407,79 | | |
| 405,98 | 408,1 | 407,09 | | |
| 410,82 | 413,65 | 412,64 | | |
| 407,36 | 409,84 | 409,28 | | |
| 411,63 | 414,48 | 413,22 | | |
| 412,83 | 415,15 | 414,1 | | |
| 412,69 | 415,43 | 414,1 | | |
| 412,7 | 415,87 | 414,59 | | |
| 412,46 | 416,34 | 414,54 | | |
| 412,54 | 415,93 | 414,36 | | |
| 412,69 | 416,14 | 414,38 | | |
| 413,71 | 416,27 | 414,47 | | |
| 414,68 | 417,44 | 415,4 | | |
| 415,82 | 417,99 | 415,85 | | |
| 412,25 | 414,17 | 412,04 | | |
| 412,24 | 414,81 | 412,61 | | |
| 412,93 | 415,02 | 413,22 | | |
| 417,13 | 419,47 | 418,23 | | |

Рисунок 1 – Файл данных для обработки в формате TXT

Расчеты производились с использованием формулы (1) с учетом нормируемых отклонений напряжений. Математическая обработка результатов производилась методами математической статистики. Используя следствия из теорем единственности теории производящих функций, при проведении расчетов предлагается считать, что функция плотности установившегося отклонения напряжений, δU_y , и функция плотности кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения, δU_n , совпадают. На основании ранее произведенных исследований, принято считать, распределение случайной величины δU_y с большей вероятностью соответствует нормальному закону распределения, чем равномерному [3].

Результатами расчета являются:

1 Осциллограмма установившегося отклонения напряжения, совмещенная с нормируемыми значениями (рисунок 2).

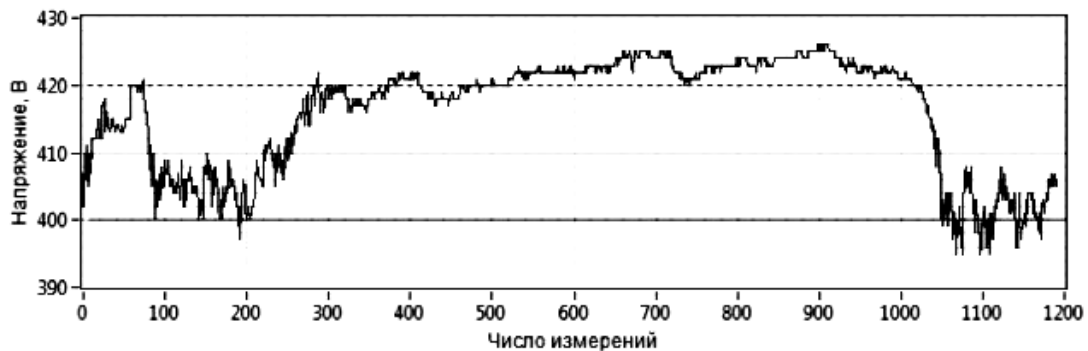


Рисунок 2 – Осциллограмма установившегося отклонения напряжения, совмещенная с нормируемыми значениями

2 Параметры распределения установившегося отклонения напряжения δU_y :

- максимальное значение установившегося отклонения напряжения $\delta U_{y,max} = 426$ В;
- минимальное значение установившегося отклонения напряжения $\delta U_{y,min} = 395$ В;
- математическое ожидание $M[\delta U_y] = 416,228$ В;
- дисперсия $D[\delta U_y] = 67,7$ В;

– среднеквадратичное отклонение $\sigma[\delta U_y] = 8,2$ В (рисунок 3).

Параметры распределения установившегося отклонения напряжения dUy

| | |
|---|---------|
| Максимальное значение установившегося отклонения напряжения dUy, max, В | 426 |
| Минимальное значение установившегося отклонения напряжения dUy, min, В | 395 |
| Математическое ожидание установившегося отклонения напряжения M[dUy], В | 416,228 |
| Дисперсия D | 67,7272 |
| Среднеквадратичное отклонение σ | 8,22965 |

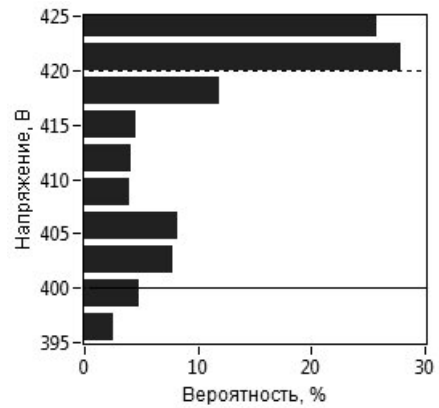


Рисунок 3 – Параметры распределения установившегося отклонения напряжения δU_y

Рисунок 4 – Гистограмма плотности распределения установившегося отклонения напряжения, совмещенная с нормируемыми значениями

3 Гистограмма плотности распределения установившегося отклонения напряжения (число квантилей гистограммы определяется пользователем), совмещенная с нормируемыми значениями (рисунок 4).

4 Вероятность выхода установившегося отклонения напряжения за нормируемые значения

$$P(420 \leq \delta U_{y,n} \leq 440) = 53,32\% .$$

5 Вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения (рисунок 5) [3]

$$P(\delta U_n) = P(420 \leq \delta U_y \leq 440) + P(440 \leq \delta U_y < 440) + P(-440 \leq \delta U_y \leq -420) + P(-\infty < \delta U_y \leq -440) - 0,05 = 48,32\%$$

Вероятность выхода установившегося отклонения напряжения dUy за нормируемые значения

| | |
|---------------------------------------|-------|
| Вероятность выхода за границу Un -5% | 0 |
| Вероятность выхода за границу Un +5% | 53,32 |
| Вероятность выхода за границу Un -10% | 0 |
| Вероятность выхода за границу Un +10% | 0 |

Вероятность кондуктивной ЭМП по установившемуся отклонению напряжения dUy

| | |
|--|-------|
| Вероятность кондуктивной ЭМП dUy | 48,32 |
| Вероятность кондуктивной ЭМП dUy по нормально допустимому значению | 48,32 |
| Вероятность кондуктивной ЭМП dUy по предельно допустимому значению | 0 |

Рисунок 5 – Проверка на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97

Выполненные исследования позволяют сделать следующие выводы:

– на ТП-2 «Омского судостроительно-судоремонтного завода» в сети 0,4 кВ установлена кондуктивная ЭМП по установившемуся отклонению напряжения;

– вероятность появления кондуктивной ЭМП в соответствии с требованиями ГОСТ 13109-97 по установившемуся отклонению напряжения составляет $P(\delta U_n) = 48,32\%$.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 13109-97. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. -Взамен ГОСТ 13109-87; введ. 1999-01-01. -Минск: Изд-во стандартов, 1998. -31 с.
- 2 Статистическая оценка показателей качества электроэнергии средствами Matlab / Д.А. Зубанов, Д.С. Кудряшов, А.А. Руппель, А.А. Сидоренко, А.Е. Швецова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2011. -№1. -С. 275-278.
- 3 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электроэнергетических системах: монография / Е.В. Иванова; под ред. В.П. Горелова, Н.Н. Лизалека. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2006. -432 с.
- 4 Иванова, Е.В. Кондуктивные электромагнитные помехи в электрических сетях 6-10 кВ: монография / Е.В. Иванова, А.А. Руппель; под ред. В.П. Горелова. -Омск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Омск. фил. -2004. -284 с.
- 5 Суранов, А.Я. LabVIEW 8.20: справ. по функциям / А.Я. Суранов. -М.: ДМК Пресс, 2007. -536 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *установившееся отклонение напряжения, трансформаторная подстанция, программный продукт, качество электрической энергии, квантиль*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Зубанов Дмитрий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Руппель Елена Юрьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СибАДИ»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»
644080, г.Омск, пр.Мира, 5, ФГБОУ ВПО «СибАДИ»*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет путей сообщения»

А.В. Устинов

COMPARATIVE ANALYSIS OF ALGORITHMS FOR PREDICTING PERIODIC SIGNALS
Moscow state university of railway engineering
A.V. Ustinov

The problem of implementing the system data using the methods of forecasting the incoming data. Consider the congruence of the two most popular forecasting algorithms in terms of their use in the system of data exchange.

Keywords: simulation modeling, data exchange system, distributed computing systems, prediction algorithms, Holt-Winters method

Рассмотрена задача реализации системы обмена данными с использованием методов прогнозирования входящих данных. Рассмотрено сравнение двух наиболее популярных алгоритмов прогнозирования с точки зрения их применения в системе обмена данными.

В настоящее время в Московском государственном университете путей сообщения (МИИТ) на кафедре Автоматизированные системы управления ведется исследовательская работа по изучению перспектив развития существующих систем обмена данными, главным образом с целью увеличения производительности тех вычислительных систем (ВС), где они применяются, без потери в достоверности и качестве передаваемых данных. В рамках этой работы был разработан новый подход к реализации системы обмена данными, основанный на применении методов прогнозирования, широко используемых в экономике.

Представим, что у нас есть вычислительная система, состоящая из шести вычислительных машин. На рисунке 1а изображена схема обмена данными, где стрелками показаны направления передачи данных между вычислительными модулями.

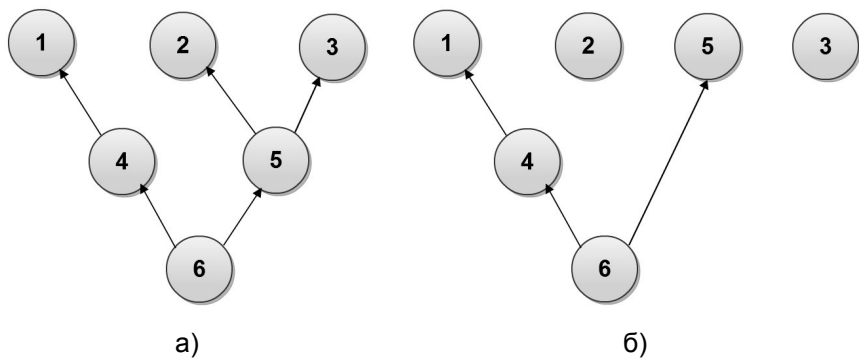


Рисунок 1 – Конфигурация системы обмена данными

Система обмена данными передает результат вычисления от одного модуля к другому, соблюдая строгую очередность, это означает, что обработка данных на втором и третьем модуле не начнется, пока им на вход не будут переданы данные с пятого модуля, который в свою очередь ожидает поступления данных с шестого модуля. Что нужно сделать, чтобы увеличить производительность данной

вычислительной системы? Например можно провести оптимизацию алгоритмов обработки данных на каждом вычислительном модуле в сторону уменьшения времени обработки, но эта задача как правило является очень трудоемкой и не всегда представляется возможной, к тому же в конечном итоге будет достигнут предел оптимизации. Еще одним способом является увеличение пропускной способности соединительного канала, по которому данные передаются от одного модуля к другому, но это не всегда сможет принести пользу. Конечно самым действенным способом разработать высокопроизводительную вычислительную систему будет её изначальное проектирование под такие задачи, в таком случае система обмена данными не играет большую роль, но что если у нас есть набор вычислительных модулей, каждый из которых выполняет свою задачу и может зависеть от данных полученных от других модулей. В таком случае одну из определяющих ролей играет система обмена данными. Вернемся к описанному выше примеру, что если, учитывая текущую конфигурацию системы, дать возможность выполнить обработку данных параллельно, то есть спрогнозировать данные, которые пятый модуль передает второму и третьему и выполнить обработку данных на них до того, как реальные данные поступят на вход. В таком случае пятый модуль выполнится параллельно с вторым и третьим, как показано на рисунке 1б.

Используя такой подход можно добиться значительного уменьшения общего времени работы вычислительной системы, а при успешном прогнозировании всех входных данных можно получить вычислительную систему, обработка данных в которой будет проходить полностью параллельно на разных вычислительных модулях независимо от конфигурации вычислительной системы. Для получения прогноза могут использоваться самые разные средства начиная от статистических алгоритмов и заканчивая нейронными сетями, выбор того или иного способа прогнозирования зависит от множества параметров, рассмотрение задачи выбора алгоритма прогнозирования выходит за пределы этой статьи.

Конечно в такой системе обмена данными должна быть предусмотрена защита от поступления не достоверных данных, т.к. прогноз, не всегда совпадает с реальными данными. Для обеспечения достоверности данных используется следующий алгоритм: вычисление проходит на спрогнозированных данных, но после поступления в вычислительный модуль реальных данных, поступившие данные сравниваются с прогнозом и если превышен допустимый уровень ошибки, то происходит пересчет на основе реально поступивших данных, но если порог ошибки не превышен, то пересчета не происходит и можно считать, что вычисления на модулях выполнены параллельно.

Для исследования возможностей рассмотренного подхода при реализации систем обмена данными была разработана имитационная модель, которая позволяет исследовать различные алгоритмы прогнозирования. В качестве средства разработки модели был выбран комплекс программных средств от компании National Instruments – LabVIEW [1, 2].

Любой прогноз строится с учетом ранее полученной информации о прогнозируемой величине, также в прогнозе должны учитываться различные внешние факторы, способные повлиять на прогнозируемую величину. Именно такой подход используется в разработанной имитационной модели. Результатом моделирования является график зависимости общего времени выполнения обработки данных на вычислительной системе от числа итераций вычислений, или времени работы вычислительной системы. Кроме этого результатом является еще один график, показывающий зависимость времени получения прогноза от числа итераций. Так как время получения прогноза может сказаться на общей скорости вычислений, то этот параметр также является важным при исследовании алгоритмов прогнозирования. При помощи разработанной модели можно сравнивать эффективность различных алгоритмов прогнозирования для разных типов передаваемых данных.

Первым этапом исследования стало изучение возможности прогнозирования периодических сигналов для вычислительных систем, занимающихся расчетом электротехнических данных. В качестве исследуемых алгоритмов рассмотрены два наиболее популярных алгоритма, довольно часто используемых в экономике для получения различного рода финансовых прогнозов. Речь идет об алгоритме ARMA (Autoregressive Moving-Average Model) или модель авторегрессии – скользящего среднего, а также алгоритм экспоненциального сглаживания Хольта-Винтерса.

На графике, изображенном на рисунке 2 представлены результаты моделирования для алгоритма ARMA, прогнозирующего сигнал длиной половина периода [3, 4].

Как можно заметить на начальном этапе работы вычислительной системы мы имеем совсем небольшое количество удачных прогнозов, но с ростом времени работы вычисли-

тельной системы накапливается объем дынных на основе которых делается прогноз и на определенном этапе общее время обработки данных начинает снижаться, что свидетельствует об увеличении числа удачных прогнозов. Начальное время обработки составляло 37,5 минут, а конечное уже около 17 минут, это говорит о том, что в данной конфигурации ВС выигрыш во времени составил 55%. Алгоритм ARMA показал хорошие результаты при прогнозировании периодического сигнала, но только лишь с небольшим уровнем шума, увеличение шума сигнала делает невозможным применение данного алгоритма прогнозирования. При исследовании данного алгоритма была выявлена линейная зависимость времени прогноза от числа итераций, которая показала, что, например, для прогноза на основе двух периодов, при частоте дискретизации сигнала в 50 кГц (2000 точек) время составило 40 мс.

Зависимость времени выполнения модели от числа итераций

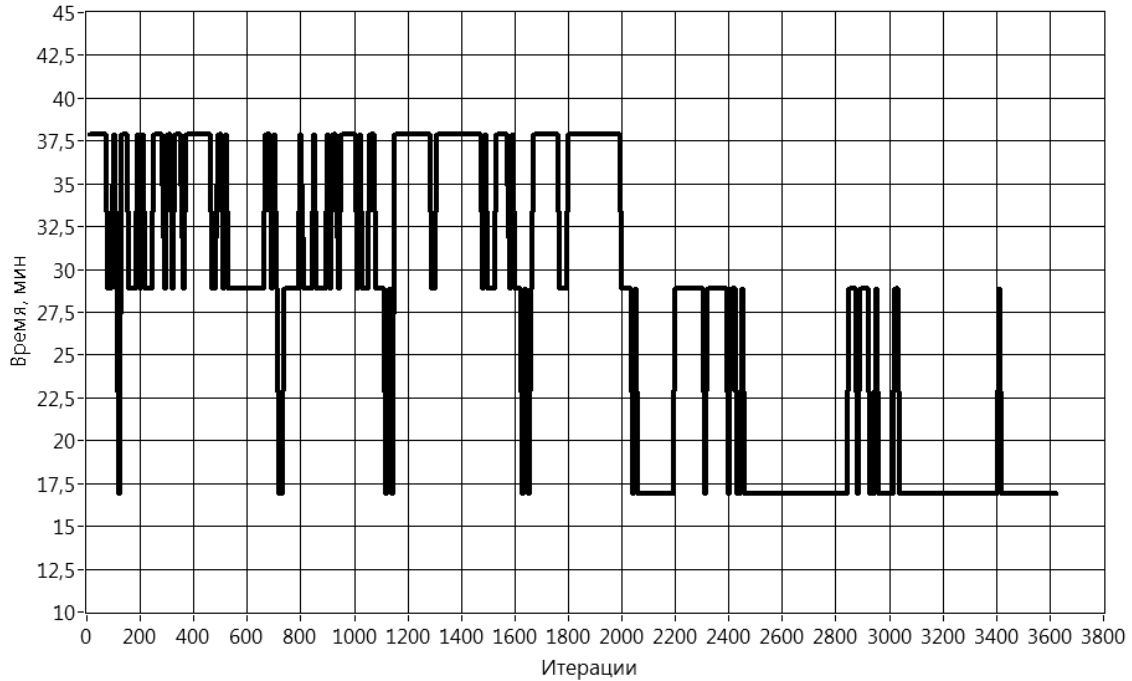


Рисунок 2 – Результат моделирования для алгоритма ARMA

Зависимость времени выполнения модели от числа итераций

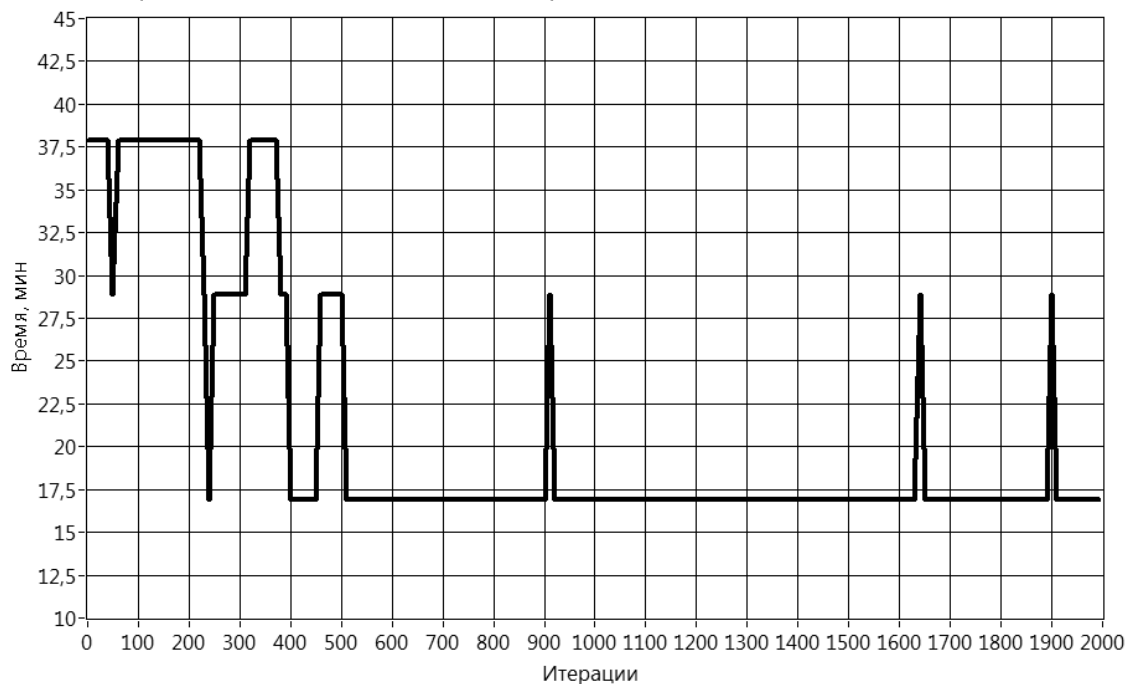


Рисунок 3 – Результаты моделирования для метода Хольта-Винтерса

Следующим алгоритмом для анализа стал метод Хольта-Винтерса [4, 5]. Для исследования этого метода было также проведено четыре опыта. Алгоритм оказался лучше приспособлен к прогнозированию периодических данных, чем ARMA, снижение общего времени выполнения обработки наблюдалось на несколько порядков раньше, чем у ARMA. Время получения прогноза оказалось гораздо меньше, около 10 мс, для двух периодов (2000 точек) против 40 мс.

Такая большая разница во времени получения прогноза является большим плюсом для алгоритма Винтерса, так как имея сигнал сложного типа может понадобиться анализ большого объема данных для получения прогноза, и увеличение времени анализа этих данных может негативно сказаться на общей скорости работы ВС. Алгоритм Хольта-Винтерса также показал себя с лучшей стороны при прогнозировании сигналов с высоким уровнем шума, что очень ценно, так как позволяет использовать для получения прогноза сигналы разного качества. На рисунке 3 показаны результаты моделирования ВС с использованием алгоритма Хольта-Винтерса для получения прогноза длиной в половину периода, на основе сигнала с высоким уровнем шума.

Выполненное исследование показало, что для прогноза периодических сигналов лучше подходит алгоритм Хольта-Винтерса. В дальнейшем в имитационную модель будут включены новые алгоритмы прогнозирования, в том числе нейросетевые алгоритмы. Помимо этого планируется провести исследование прогноза для не периодических сигналов, что позволит провести наиболее полный анализ возможности применения рассмотренного подхода в системах обмена данными.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Трэвис, Дж. LabVIEW для всех / Дж. Трэвис, Дж. Кринг. -М.: ДМК Пресс, 2008.
- 2 Жуков, К.Г. Модельное проектирование встраиваемых систем в LabVIEW / К.Г. Жуков. -М.: ДМК Пресс, 2011.
- 3 Сравнение методов ARIMA и Винтерса в задаче прогнозирования продаж [Электронный ресурс] // НейроПроект, 2005. - Режим доступа: http://www.neuroproject.ru/articles_arima_vs_winters.php.
- 4 Шанченко, Н.И. Лекции по эконометрике: учеб. пособие для студентов высш. учеб. заведений, обучающихся по спец. «Приклад. информатика (в экономике)» / Н.И. Шанченко. -Ульяновск: УлГТУ, 2008. -139 с.
- 5 Ханк, Д.Э. Бизнес-прогнозирование / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райте. -М.: Вильямс, 2003. -656 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: имитационное моделирование, система обмена данными, распределенные вычислительные системы, алгоритмы прогнозирования, метод Хольта-Винтерса
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Устинов Алексей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВПО «МГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 127994, г.Москва, ул.Образцова, 9, стр.9, ФГБОУ ВПО «МГУПС»

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЛИНЕЙНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.Т. Когут, А.А. Лаврухин

DEVELOPMENT AND ANALYSIS OF NONLINEAR MULTIPATHING CONTROL ALGORITHMS IN DIAGNOSTIC SYSTEM FOR RAILWAY MOTORS

Omsk state transport university
A.T. Kogut, A.A. Lavrukhin

A system of diagnosis of DC traction motors included by mutual load and its deterministic dynamical model. The algorithms bypass rotational speed control shaft of electric machines.

Keywords: railway motor, test station, nonlinear multipathing model, velocity of rotation, control, double-loop system

Рассматривается система диагностики тяговых двигателей постоянного тока, включенных методом взаимной нагрузки и ее детерминированная динамическая модель. Разработаны алгоритмы двухконтурного управления частотой вращения валов электрических машин.

Испытания тяговых электродвигателей (ТЭД) проводятся для проверки готовности их к работе и для контроля правильности технологического процесса изготовления или ремонта. В результате испытаний необходимо гарантировать соответствие электрической машины ее паспортным данным, проведя минимально необходимый объем испытаний [1]. Один из методов таких испытаний ТЭД с наименьшими энергозатратами, применяемый в локомотивных

депо – это метод взаимной нагрузки. Для диагностирования ТЭД разработана автоматизированная система диагностики, предназначенная для проведения испытаний на нагрев под нагрузкой, проверки частоты вращения, измерения активных сопротивлений обмоток и изоляции двигателя [2, 3].

Две одинаковые электрические машины соединяются между собой механически и электрически и подключаются к внешнему источнику энергии. Одна из машин работает в режиме генератора, вторая – в режиме двигателя. Расход энергии при испытаниях по методу взаимной нагрузки определяется суммарными потерями в обеих машинах. При значениях КПД тяговых электродвигателей, превышающих значение 90%, для испытаний требуются источники мощности, составляющие всего 10-20% мощности каждой испытываемой машины [2].

Применяется способ параллельного включения источника, когда якорные обмотки машин включаются параллельно и подключаемый к ним линейный преобразователь (ЛП) обеспечивает необходимый режим напряжения. Компенсацию электрических потерь выполняет вольтодобавочный преобразователь (ВДП), регулируя ток в контуре «двигатель-генератор». Схемы испытательной станции приведены на рисунок 1.

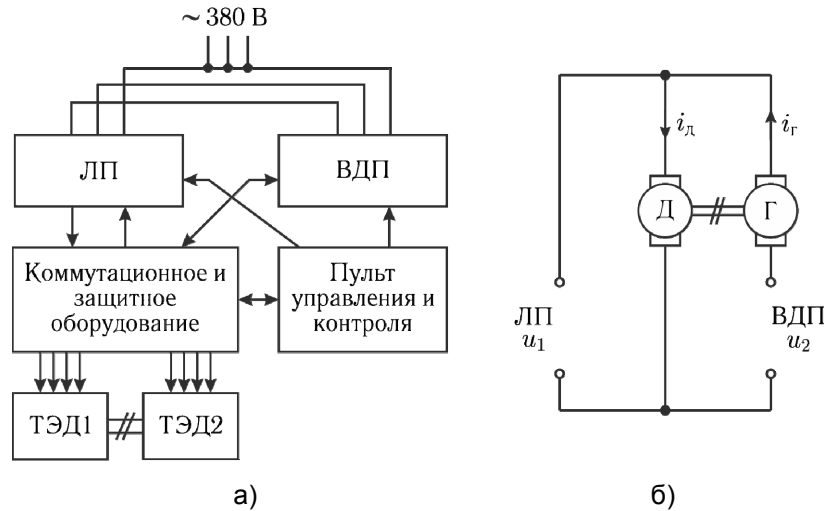


Рисунок 1 – Структурная (а) и принципиальная (б) схемы испытательной станции

Методика испытаний основана на постепенном увеличении частоты вращения соединенных жестко валов двигателя и генератора с нулевого значения до номинального в течение 3,5 минут (разгон),

затем – поддержании постоянной частоты вращения в течение 15 минут (режим нормальной работы) и постепенном уменьшении ее до нуля (торможение).

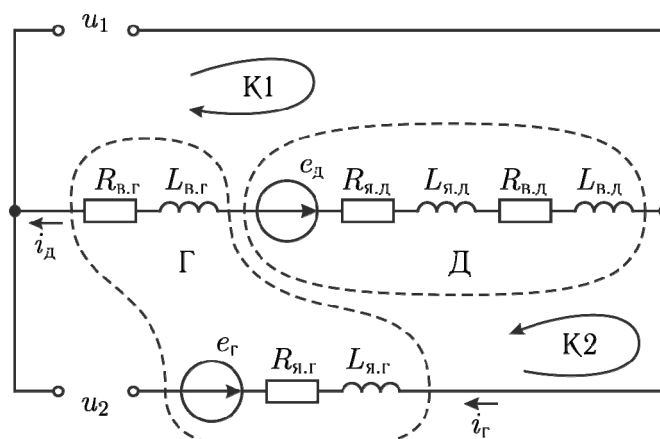


Рисунок 2 – Электрическая схема замещения

Для синтеза устройства управления получим математическую модель детерминированным способом, используя паспортные данные ТЭД [4]. Возбуждение двигателей осуществляется последовательным включением их обмоток. Электрическая схема замещения системы «двигатель-генератор» представлена на рисунке 2. В цепи двигателя включены последовательно обе обмотки двигателя (Д): якорная с сопротивлением $R_{я.д}$ и индуктивностью $L_{я.д}$ и обмотка возбуждения с сопротивлением $R_{э.д}$ и индуктивностью $L_{э.д}$, а также обмотка возбуждения генератора (Г) с сопротивлением $R_{э.г}$ и индуктивностью $L_{э.г}$.

В цепи генератора включена только якорная обмотка генератора с сопротивлением $R_{я.г}$ и индуктивностью $L_{я.г}$. ЭДС e_d и e_r действуют в якорных цепях двигателя и генератора, в которых также протекают токи i_d и i_r соответственно.

На основании второго закона Кирхгофа, записанного для контура К1, выполняется уравнение электрического баланса

$$u_1 = R_1 i_d + L_1 \frac{di_d}{dt} + e_d, \quad (1)$$

где

$$R_1 = R_{э.д} + R_{я.д} + R_{э.г}; \quad L_1 = L_{э.д} + L_{я.д} + L_{э.г}.$$

Аналогично, уравнение электрического баланса для контура К2

$$u_2 = R_1 i_\delta + L_1 \frac{di_\delta}{dt} - R_2 i_e + L_2 \frac{di_e}{dt} + e_\delta - e_e, \quad (2)$$

где

$$R_2 = R_{я,э}; \quad L_2 = L_{я,э}.$$

В уравнения (1) и (2) входят напряжения ЛП u_1 и ВДП u_2 , ЭДС двигателя e_δ и генератора e_e , ток цепи двигателя i_δ , сопротивления $R_{\delta,0}, R_{я,0}, R_{\delta,э}$ и индуктивности $L_{\delta,0}, L_{я,0}, L_{\delta,э}$.

Уравнение механического баланса получается в соответствии со вторым законом Ньютона и имеет вид

$$\frac{d\Omega}{dt} = \frac{M_\delta - M_e - M_{\text{вн}}}{J}, \quad (3)$$

где Ω – частота вращения валов электромеханической системы;

M_δ – момент вращения двигателя;

M_e – момент вращения генератора;

$M_{\text{вн}}$ – суммарный механический момент внешних сил, действующих на вал двигателя и генератора;

J – момент инерции системы.

Введем обозначения постоянных времени

$$T_1 = L_1/R_1; \quad T_2 = L_2/R_2,$$

и перепишем уравнения (1)-(3) для изображений сигналов:

$$i_\delta = \frac{u_1 - e_\delta}{R_1(T_1 s + 1)}; \quad (4)$$

$$i_e = \frac{u_2 - u_1 - e_e}{R_2(T_2 s + 1)}; \quad (5)$$

$$\Omega = \frac{M_\delta - M_e - M_{\text{вн}}}{J s}. \quad (6)$$

Моментам двигателя и генератора соответствуют формулы

$$M_\delta = c_M i_\delta^2 f_{\text{возб}}(i_\delta); \quad (7)$$

$$M_e = c_M i_e i_\delta f_{\text{возб}}(i_\delta), \quad (8)$$

а для ЭДС справедливы зависимости

$$e_\delta = e_e = c_E i_\delta \Omega f_{\text{возб}}(i_\delta), \quad (9)$$

где c_M, c_E – конструктивные постоянные электрической машины;

$f_{\text{возб}}(i_\delta)$ – нелинейная характеристика, зависящая от возбуждения в обмотках машины, которую заменим аппроксимирующей функцией

$$f_{\text{возб}}(i_\delta) = \tanh(\alpha i_\delta / I_{\text{max}}) / \alpha, \quad (10)$$

где I_{max} – ток насыщения;

α – параметр нелинейности.

Нелинейная многосвязная динамическая модель (4)-(10) описывает работу системы «двигатель-генератор» как объекта управления, и ей соответствует структурная схема, приведенная на рисунок 3.

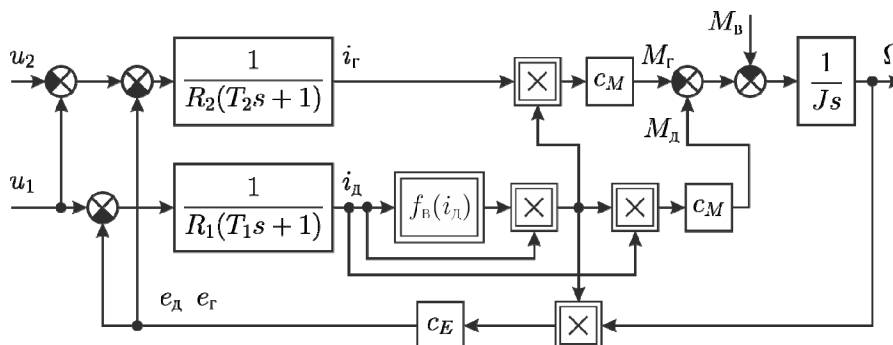


Рисунок 3 – Структурная схема модели объекта (системы «двигатель – генератор») при включении тяговых двигателей методом взаимной нагрузки

Механический момент внешних сил $M_{вн}$ считаем равным сумме момента сухого $M_{с.тр}$ и вязкого $M_{в.тр}$ трения. В имитационной модели воздействие $M_{вн}$ задается выражением:

$$M_{вн} = \begin{cases} \beta\Omega + M_{\delta} - M_{\epsilon}, & \text{если } M_{\delta} - M_{\epsilon} < \gamma M_H \text{ и } \Omega = 0; \\ \beta\Omega + \gamma M_H, & \text{если } M_{\delta} - M_{\epsilon} \geq \gamma M_H \text{ или } \Omega > 0, \end{cases} \quad (11)$$

где β – коэффициент вязкого трения;

γ – коэффициент сухого трения.

Значения коэффициентов принимаются равными $\beta = 0,004$; $\gamma = 0,2$.

При синтезе системы управления многосвязным нелинейным объектом предлагается применять двухконтурную систему, где алгоритмы управления $u_1(t)$ и $u_2(t)$ формируются, во-первых, независимо друг от друга, а во-вторых, в соответствии с основными целями управления [5].

Первой целью является изменение частоты вращения Ω в соответствии с желаемой (программной) траекторией. Для регулирования $\Omega(t)$ будем использовать управление $u_1(t)$, это воздействие можно считать основным, обеспечивающим необходимый режим работы системы.

Вторая цель – это контроль и управление токами $i_{\delta}(t)$ и $i_{\epsilon}(t)$ так, чтобы они не превышали допустимые номинальные значения $I_H = 467$ А. Это может быть обеспечено за счет дополнительного управления $u_2(t)$.

Определим связь управляющего воздействия u_2 с электрическими токами в обмотках. Для этого уравнения (4) и (5) представим в статическом режиме (при $s = 0$) следующим образом:

$$i_{\delta}R_1 = u_1 - e_{\delta}; \quad (12)$$

$$i_{\epsilon}R_2 = u_1 - u_2 - e_{\epsilon}. \quad (13)$$

Разность уравнений (12) и (13) с учетом формулы (9) примет вид

$$i_{\delta}R_1 - i_{\epsilon}R_2 = u_2. \quad (14)$$

В статическом режиме справедливо выражение

$$M_{\delta} - M_{\epsilon} = M_{вн}, \quad (15)$$

которое получено из уравнения (6). Величина внешнего момента относительно мала $M_{вн} \ll M_{\delta}$, поэтому выполняется приближенное равенство для моментов M_{ϵ} и M_{δ} , а следовательно и для токов

$$i_{\delta} \approx i_{\epsilon}. \quad (16)$$

Формулу (14) перепишем в виде:

$$u_2 = i_{\epsilon} (R_1 - R_2). \quad (17)$$

Структурная схема синтезированной системы автоматического управления приведена на рисунке 4.

В основном контуре системы формирование $u_1(t)$ осуществляется на основе ПИД-закона регулирования [5]. Настройка и определение параметров ПИД-регулятора проведена в системе Simulink пакета Matlab путем минимизации динамической ошибки в замкнутой системе.

Во внутреннем контуре реализовано выражение (17) для формирования управляющего воздействия u_2 .

Проведено имитационное моделирование разработанной модели системы с полученными алгоритмами управления. Временные диаграммы управляющих воздействий приведены на рисунке 5, программной $\Omega_{прогр}$ и выходной Ω траекторий частоты вращения – на ри-

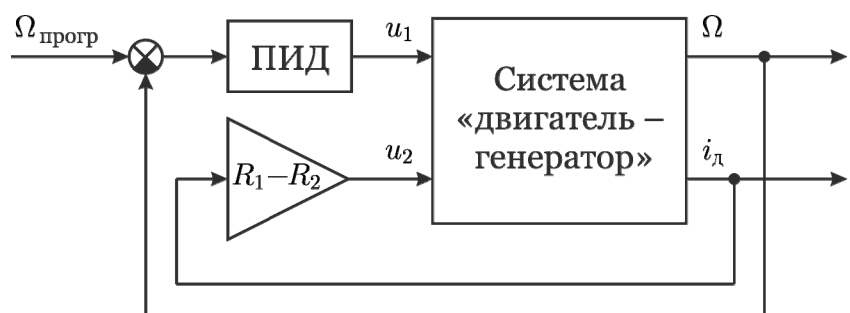


Рисунок 4 – Структурная схема системы автоматического управления частотой вращения двигателя и генератора

сунке 6, а токов в цепях двигателя и генератора – на рисунке 7.

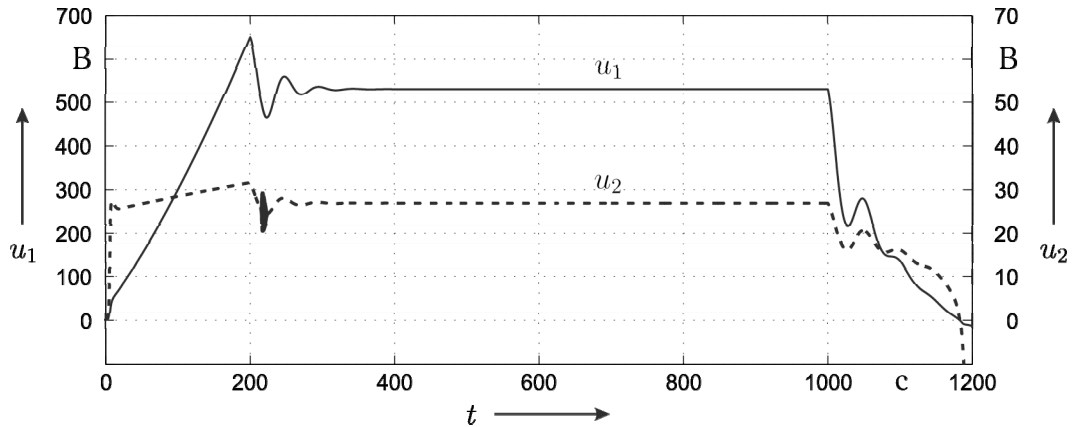


Рисунок 5 – Структурная схема системы автоматического управления частотой вращения двигателя и генератора

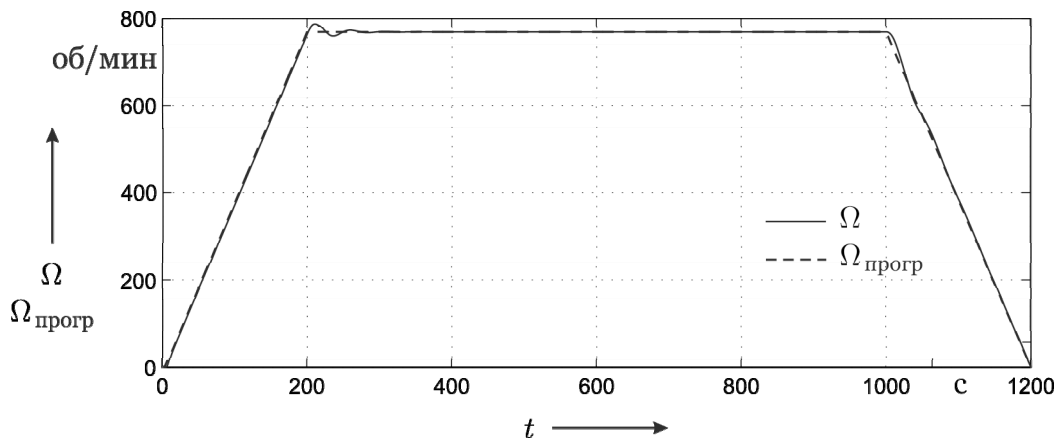


Рисунок 6 – Структурная схема системы автоматического управления частотой вращения двигателя и генератора

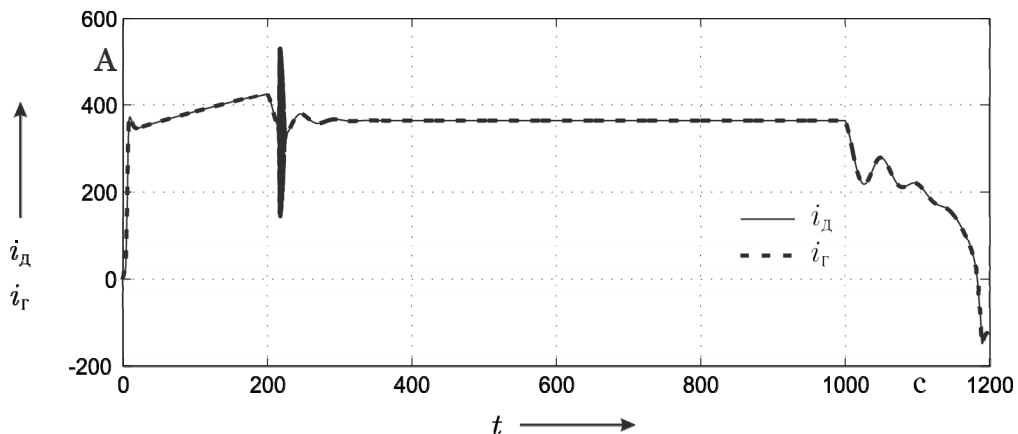


Рисунок 7 – Структурная схема системы автоматического управления частотой вращения двигателя и генератора

Результаты моделирования подтвердили устойчивость процессов управления в системе. Максимальная динамическая ошибка по частоте вращения составляет 2,5 об/мин (3,1% от номинального значения), статическая ошибка отсутствует. Величины токов в обмотках не превышают 427 А (86% от номинального значения тока), а кратковременные пиковые значения токов не превышают 535 А (115% от номинального), что считается допустимым.

Моделирование показало принципиальную возможность управления частотой вращения ТЭД. Разработанная система и алгоритмы управления рекомендуется использовать в задаче диагностирования тяговых электродвигателей, включенных по методу взаимной нагрузки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Котеленец, Н.Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин / Н.Ф. Котеленец, Н.А. Акимова, М.В. Антонов. -М.: Академия, 2003. -384 с.
- 2 ГОСТ 11828-86. Машины электрические вращающиеся. Общие методы испытаний. -М.: Изд-во стандартов, 1986. -32 с.
- 3 Диагностирование и настройка коммутации тяговых и других коллекторных электрических машин / В.Д. Авилов, В.П. Беляев, Ш.К. Исмаилов, В.В. Харламов; Омск. гос. ун-т путей сообщения. -Омск, 2002. 134 с.
- 4 Справочник по электрическим машинам. В 2 т. Т.2. / под ред. И.П. Копылова, Б.К. Клокова. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -688 с.
- 5 Ким, Д.П. Теория автоматического управления. В 2 т. Т.2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы / Д.П. Ким. -М.: Физматлит, 2004. -464 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *тяговый электрический двигатель, испытательная станция, нелинейная многосвязная модель, частота вращения, управление, двухконтурная система*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Козут Алексей Тарасович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Лаврухин Андрей Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»*

ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ БЛОКА БАЛЛАСТНЫХ РЕЗИСТОРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

**ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей
сообщения»**

Н.Н. Гарев

CONSTRUCTION OF AUTOMATED CONTROL SYSTEMS PROCESS COOLING UNIT BALLASTS AC LOCOMOTIVES

Irkutsk state transport university

N.N. Garev

This paper describes a range of tasks associated with the thermal control circuit of equipment locomotive. Provided a general principle of construction, operation, components and basic technical requirements for automated process control system cooling ballast resistors units of AC electric locomotives «Ermak» series as 2ЭС5К, 3ЭС5К and Э5К.

Keywords: process control system, ballast resistors units, electric locomotive «Ermak», fuzzy logic, temperature control

Рассмотрен круг задач, связанных с термоконтролем силового оборудования электровоза. Приведен общий принцип построения и работы, элементная база и основные технические требования к автоматизированной системе управления технологическим процессом охлаждения блоков балластных резисторов электровозов переменного тока серии «ЕРМАК» 2ЭС5К, 3ЭС5К и Э5К.

Выход из строя элементов силовой цепи, обеспечивающих режим рекуперативного торможения электровоза, опасен и может нарушить весь технологический процесс перевозок на участках с лимитирующими уклонами. Учитывая высокую грузонапряженность ВСЖД, это часто приводит к убыткам ОАО «РЖД».

Балластный резистор R10 согласно силовой схеме электровоза 2ЭС5К, включенный в цепь якоря каждого тягового двигателя является элементом, обеспечивающим стабильность работы группы тяговых двигателей в генераторном режиме. Балластные резисторы конструктивно объединены в блоки.

Для охлаждения ББР во всех отечественных электровозах, кроме Э5К, применены центробежные вентиляторы типов Ц8 и Ц9. В электровозах серии Э5К для этой цели применен осевой вентилятор серии ВЭ. Недостатки осевого вентилятора в сравнении с центробежным компенсированы снижением требований к охлаждению ББР на электровозах этих серий.

Сравнение показателей производительности вентиляторов и расхода воздуха на ББР [1] показывает его недостаточное обеспечение охлаждающим воздухом в режиме рекуперации при ведении поезда по лимитирующему профилю ВСЖД на всех типах электровозов серии «Ермак». Необходимо также учесть изменение частоты вращения приводных двигателей и, следовательно, производительности вентиляторов при изменении напряжения в контактной сети [2]. Отсутствие регулирования производительности при этом может приводить к избыточному снабжению ББР охлаждающим воздухом в режиме неполной загрузки тяговых двигателей.

Все перечисленные особенности конструкции системы охлаждения не обеспечивают стабилизацию температурного режима ББР в режиме эксплуатации, что отрицательно сказывается на долговечности и надежности.

С целью обеспечения удовлетворительных показателей эксплуатационной надежности и долговечности ББР на ВСЖД введен комплекс организационных мер и дополнительных ограничений при эксплуатации электровозов [3], что является неоптимальным для перевозочного процесса.

Введение АСУ ТП охлаждения ББР позволяет решить следующий круг задач:

- изменение производительности вентилятора в соответствии с режимом нагрузки ББР;
- контроль температурно-влажностного режима ББР;
- оптимизация режима питания приводного АД;
- учет влияния окружающей среды на состояние оборудования, охлаждаемого вентилятором ББР (в том числе, блок диодов U11 и ВУВ U3);
- автоматическая защита привода вентилятора от нештатных режимов работы и сигнализация состояния;
- исключение наблюдения оператором (машинистом) за состоянием привода, вентилятора ББР и средств защиты;
- энергосберегающее управление АД.

Принято целесообразным разделение системы управления приводом вентилятора ББР электровоза на функциональные блоки (рисунок 1), выполняющие независимое обеспечение своих функций с управлением от общего блока АСУ ТП, взаимодействующим с системой управления (МСУД) электровозом по технологической шине обмена данными (CAN, RS485).

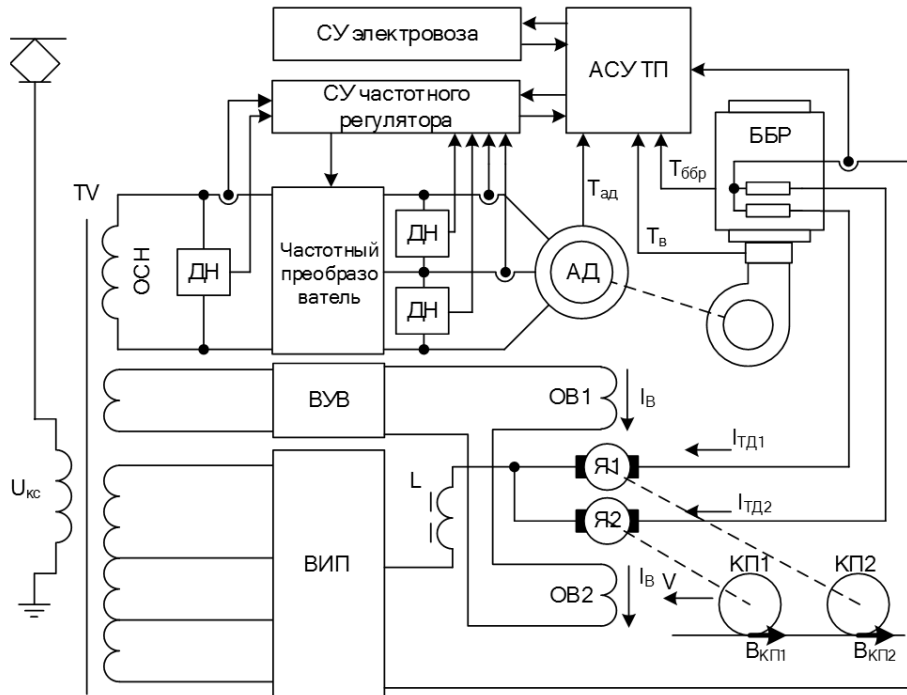


Рисунок 1 – Принципиальная схема АСУ ТП охлаждения ББР с обозначением функциональных блоков в составе оборудования, задействованного в режиме рекуперативного торможения

Современная элементная база позволяет использовать в составе АСУ ТП устройства частотного управления асинхронными двигателями на основе управляемых IGBT-ключей (частотные преобразователи) в качестве силового преобразователя, непосредственно осуществляющего ресурсосберегающее управление асинхронным электродвигателем привода мотор-вентилятора. Принципиальная схема включения промышленного типового частотного преобразователя (в транспортном исполнении) приведена на рисунке 2. Таким образом планируется обеспечить достаточный запас эксплуатационной надежности АД привода МВ ББР в сравнении с серийно применяющейся в настоящее время схемой питания. В качестве частотного преобразователя, возможно совместное использование АСУ ТП с вновь устанавливаемыми на электровозы серии «ЕРМАК» преобразователями типа ШПВМ-250-У2 [4].

АСУ ТП осуществляет общий контроль выполнения программы режимов с использованием нечеткой (FUZZY) логики при учете температурного режима балластных резисторов, асинхронного двигателя привода мотор-вентилятора и температуры воздуха снаружи кузова электровоза.

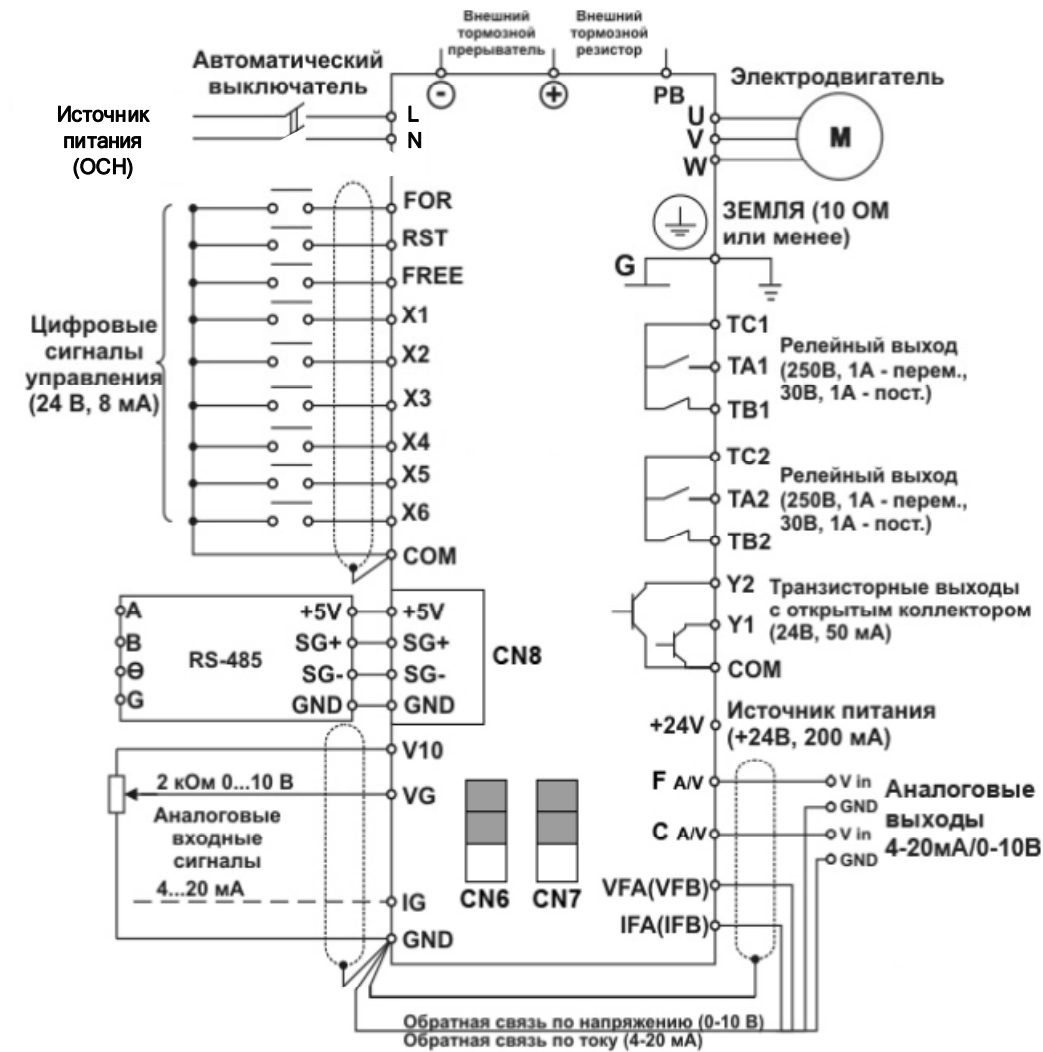


Рисунок 2 – Принципиальная схема включения частотного преобразователя в схему ОСН электровоза 2ЭС5К

Нечеткая логика вводит простой, основанный на правилах вида *IF X AND Y (AND ...) THEN Z* подход к решению задачи управления вместо попыток смоделировать систему математически. Нечеткая логика позволяет избежать полного ввода параметров системы охлаждения ББР, ограничиваясь операциями с правилами соответствия режимов работы привода мотор-вентилятора режимам нагрева ББР, дополненными обработанными статистическими данными об эксплуатации ББР с конкретными тяговыми двигателями типа НБ-514Б в условиях электровоза серии «Ермак» типа 2,3ЭС5К или Э5К [5].

Структурная схема, включающая объект управления, АСУ ТП и взаимосвязи между их блоками, приведена на рисунке 3.

В качестве информации, позволяющей осуществлять температурный контроль ББР, используется совокупность данных, получаемых от системы датчиков (ФП_и, ФП_т). Последние преобразуют значения температуры воздуха снаружи кузова T_B , тока якоря тягового двигателя $I_{я}$, температуры элементов ББР $T_{ББР}$ и температуры обмоток АД привода МВ $T_{АД}$ в информационные сигналы, пригодные к обработке микроконтроллерным блоком управления, включающим FUZZY-регулятор.

Токовая защита АД привода МВ осуществлена путем съема значений фазных токов с последующей обработкой в блоке управления частотным преобразователем. При превышении критических значений тока, установленных для текущего режима производительности мотор-вентилятора, производится либо изменение режима работы АСУ ТП, либо аварийное отключение рекуперативного торможения электровоза, в зависимости от характера и скорости увеличения значений тока.

Микроконтроллерный блок управления (рисунок 4) включает блоки фаззификации входных данных, решения и дефаззификации; интегратор выходного сигнала, исключаящий ярко

выраженные переходные процессы при изменении режима работы АСУ ТП; накопители информации, содержащие базу знаний и статистические данные о параметрах, режимах работы АСУ ТП и интегратора.

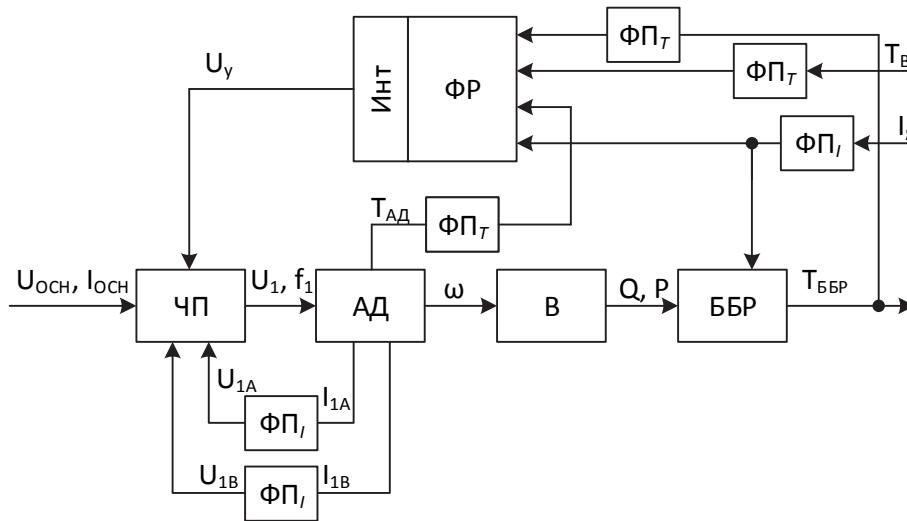


Рисунок 3 – Структурная схема системы «ОСН-Преобразователь-МВ-ББР»: ЧП-частотный преобразователь; АД-асинхронный двигатель НВА-55; В-мотор-вентилятор Ц9-37,6 №7,6; ББР-блок балластных резисторов ББР-64 (ББР-69); ФП_И-функциональный преобразователь тока (трансформатор тока); ФП_Т-функциональный преобразователь температуры (терморезистор, пирометр); ФР-блок управления, включающий FUZZY-регулятор; Инт-интегратор

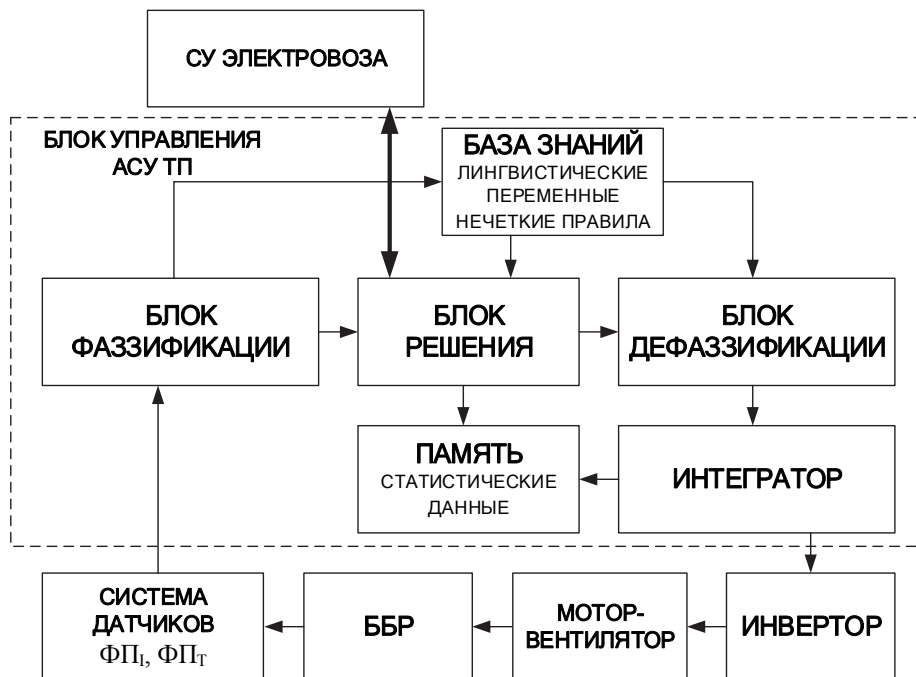


Рисунок 4 – Логическая схема блока управления АСУ ТП

В случае, если система управления частотным преобразователем оборудована встроенным ПИ-регулятором, возможно отключение интегратора блока управления АСУ ТП с накоплением информации непосредственно с выхода блока управления частотного регулятора.

Все перечисленные элементы блока управления АСУ ТП конструктивно объединены в один блок с целью упрощения монтажа оборудования в кузове электровоза.

Проектируемые размеры элементов АСУ ТП, включая габариты силового блока частотного преобразователя и системы его охлаждения, допускают их размещение в высоковольтной камере электровоза. При использовании в качестве частотного преобразователя блоков БТИ-70 и БВИ-140, входящих в состав ШПВМ-250-У2, необходима только установка блока

управления АСУ ТП охлаждения ББР и подключение его к технологическим интерфейсам МСУД электровоза.

Заключение:

1 Существующая задача температурного контроля блоков силовых (тормозных и балластных резисторов) критична для большинства электровозов и тепловозов с коллекторными тяговыми двигателями, использующими режим не только рекуперативного, но и реостатного торможения. Поэтому возможность применения АСУ ТП температурного контроля силовых резисторов не ограничена исключительно электровозами серии «ЕРМАК» типов 2,3ЭС5К и Э5К.

2 Критерий решённости технической задачи в данном случае ограничен глубиной изменений, вносимых в систему охлаждения силовых резисторов локомотива: мощность и алгоритм работы частотного преобразователя; число и параметры режимов работы АСУ ТП термоконтроля силовых резисторов; возможность применения мотор-вентилятора охлаждения ББР энергоэффективных серий согласно ГОСТ Р 51689-2000 и IEC 60072-1; совокупность климатических факторов и другие.

3 Эффектообразующими факторами при внедрении АСУ ТП термоконтроля ББР электровоза при эксплуатации являются не только улучшение показателей эксплуатационной надежности и долговечности ББР электровоза, а также снятие ограничений при следовании по лимитирующему профилю, но и существенная экономия электроэнергии при неполной загрузке тяговых мощностей электровоза в режиме рекуперативного торможения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электровоз магистральный 2ЭС5К (3ЭС5К): рук. по эксплуатации. -Новочеркасск: НЭВЗ, 2007.
- 2 Магистральные электровозы. Общие характеристики. Механическая часть / В.И. Бочаров [и др.]. -М.: Машиностроение, 1991. -224 с.
- 3 Инструкция по применению рекуперативного торможения локомотивными бригадами депо ст.Нижнеудинск: утв. 2001.
- 4 Энергосбережение в системах питания вспомогательных машин электровозов переменного тока серии «ЕРМАК» за счет внедрения ШПВМ-250-У2 / А.А. Тишкин, А.А. Курганов, А.А. Калюжный, И.В. Синявский // Вестн. ВЭЛНИИ. -Новочеркасск, 2011. -№2. -С. 63-74.
- 5 Смирнов, В.П. Непрерывный контроль температуры предельно нагруженного оборудования электровоза: монография / В.П. Смирнов. -Иркутск: Изд-во Иркут. гос. ун-та, 2003. -328 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *автоматизированная система управления технологическим процессом, блок балластных резисторов, электровоз «ЕРМАК», нечеткая логика, температурный контроль*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Гарев Николай Николаевич, аспирант ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *664074, г.Иркутск, ул.Чернышевского, 15, ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»*

ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧИСЛА СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА СБРОСА ГОЛОЛЕДА

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Горелов, Г.А. Данилов, М.А. Кручинин, М.В. Рябов

PRELIMINARY TEST OF DEICER WIRELESS MONITORING SYSTEM
Novosibirsk state academy of water transport
V.P. Gorelov, G.A. Danilov, M.A. Kruchinin, M.V. Ryabov

The preliminary test of deicer wireless monitoring system are viewed. General description of deicer and the wireless monitoring system sensor actions are given.

Keywords: wireless communications, cleaning of wire, reset the ice, deicer

Описаны предварительные испытания беспроводной системы мониторинга устройства сброса гололеда. Приведено общее описание устройства и принципов работы измерительного поста беспроводной системы мониторинга.

Система мониторинга числа срабатываний устройства сброса гололеда в настоящее время разрабатывается в соответствии с государственным контрактом №16.526.11.6015 от 22 мая 2012 г. «Разработка и создание опытных образцов устройств для высоковольтных воздушных линий электропередачи на базе изолирующих траверс, предназначенных для удаления гололеда и подобных явлений с проводов». Как указано в [1] ООО «ЭЛЕКТРОМАШ» в рамках данной ОКР предложила оригинальный никем ранее не

применяемый способ борьбы с гололедом и подобных явлений на проводах ЛЭП. Он заключается в использовании специального устройства возбуждения колебаний (УВК) включенного в состав изолирующей траверсы.

Срабатывание устройства происходит при достижении усилия, воздействующего на УВК, определенного значения. При этом подвижный шток УВК, а вместе с ней и вся траверса совершает поступательное движение вниз вплоть до цилиндрического корпуса. Происходит удар штока о корпус устройства, в результате которого возникают первые повреждения гололедной муфты на проводе, а возникшие колебания провода приводят к последующей его очистке. При удачном сбросе гололеда, возврат штока в исходное положение происходит при помощи возвратной пружины. Благодаря этому, УВК имеет свойство самовзведения, то есть после сброса гололедной муфты устройство возвращается в исходное положение и готово к дальнейшему использованию.

Для наблюдения за работой УВК, установленных на линии разработана система мониторинга, состоящее из нескольких (в зависимости от количества изолирующих траверс, оснащенных УВК) измерительных постов, и пульта сбора данных.

На каждой изолирующих траверсе, оснащенных УВК, закрепляется небольшое электронное устройство, которое сочетает в себе функции акселерометра и радиопередатчика – измерительный пост.

В качестве пульта сбора данных используется персональный компьютер с установленной головной программой и с подключенным по USB-кабелю приемо-передающим блоком. Пульт сбора данных устанавливается на подстанции.

Измерительные посты могут связываться как с пультом сбора данных, так и между собой. В предлагаемом устройстве результаты измерений передаются от одного измерительного поста к другому по цепочке вдоль ВЛ, вплоть до пульта сбора данных, установленного на подстанции. Головная программа периодически опрашивает измерительные посты и собирает информацию о срабатывании УВК. Накопление, отображение, анализ и архивирование полученных результатов измерений происходит на персональном компьютере.

Методика определения факта срабатывания, которая применена в системе мониторинга достаточно проста. В исходном состоянии контроллер, частью которого является акселерометр, находится в спящем режиме. После срабатывания УВК траверса какое-то время (от 1 до 2 с) двигается с ускорением, близким у ускорению свободного падения. Это является сигналом для выхода контроллера из спящего режима, после чего он с определенной частотой начинает измерять ускорение, с которым двигается шток. По окончании цикла измерения программное обеспечение сохраняет результаты во внутренней памяти и вновь переходит в спящий режим.

Основная проблема, возникающая при разработке устройство мониторинга числа срабатываний УВК – это проблема сбора информации с объектов, распределенных через относительно небольшие промежутки (200-300 м) на значительных расстояниях (100-200 км). Основная идея для решения данной проблемы состоит в том, что результаты измерений передаются от одного измерительного поста к другому по цепочке вдоль ВЛ, вплоть до пульта сбора данных, установленного на подстанции.

После обработки полученных от измерительных постов результатов измерений, головная программа анализирует их и определяет во-первых сам факт срабатывания УВК, а во-вторых – факт возврата штока УВК в исходное положение или его «повисание» с соответствующим отображением и архивированием результатов.

Предварительные испытания.

На данном этапе работы основной целью предварительных испытаний являлась апробация работы системы мониторинга, состоящего из одного измерительного поста и пульта сбора данных. В основном апробация касалась системы измерения ускорения, так как система передачи информации была отработана в предыдущих работах [2].

Датчик срабатываний крепился в точке подвеса провода на траверсе полимерной опоры на высоте около 2 м как показано на рисунке 1.

Нагружение траверсы производилось с помощью бетонных блоков, несимметрично установленных на опору качения. Торец перевешивающей части бетонных блоков находился под точкой крепления к траверсе и крепился через захват струбциной к цепи, закрепленной на точке подвеса траверсы через динамометр.

После этого балка поднималась с помощью талрепа. В нагруженном состоянии домкратился противоположный от точки крепления торец балки. Механизм срабатывал примерно

на 12 кН. При рабочем ходе УВК, бетонный блок срывался с крепления и механизм возвращался в исходное состояние.



Рисунок 1 – Подготовленная к испытаниям траверса (а) и закрепленный измерительный пост (б)

Для оценки работоспособности датчика была разработано специальное программное обеспечение с расширенной функциональностью. Кроме определения факта срабатывания УВК, проводилась запись графика ускорений по 160 точек на каждую из трех координат с последующей передачей головной программе, установленной на ноутбуке в автоматическом режиме.

Был произведен ряд опытов, в которых варьировалась частота регистрации и рабочий диапазон измерения ускорения. Одна из полученных осциллограмм приведена на рисунке 2.

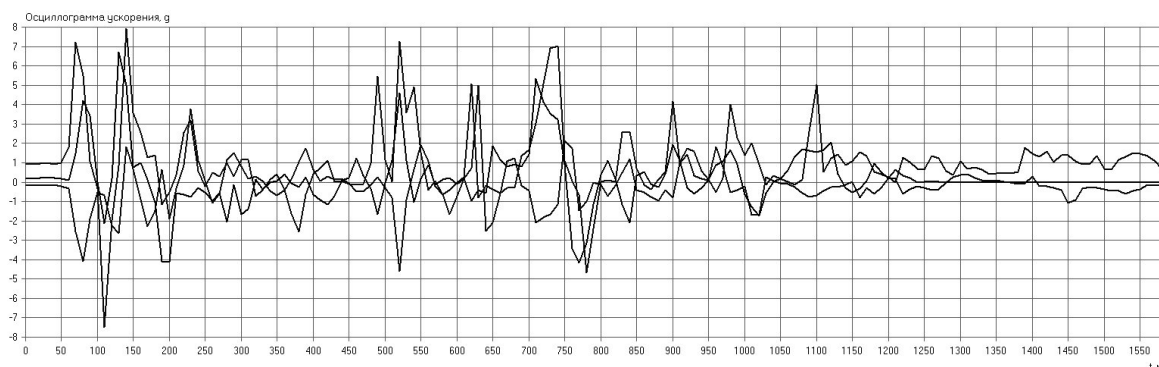


Рисунок 2 – Полученные при испытании осциллограммы ускорений по трем осям

В целом результаты апробации можно считать положительными. Измерительный пост устойчиво выходил из спящего режима, измерял ускорение по трем осям с заданной частотой и передавал результаты измерений головной программе.

В результате предварительных испытаний были получены следующие результаты:

- измерительный пост устойчиво выходил из спящего режима, измерял ускорение по трем осям с заданной частотой и передавал результаты измерений головной программе;
- время срабатывания УВК конструкции, которая была использована при испытании не превышает 1,5 с;
- изучая полученные осциллограммы, можно выделить характерные участки движения штока с ускорением, близким к ускорению свободного падения, участок удара штока о корпус при движении вниз и участок удара штока при движении вверх (при возврате УВК в исходное положение). Таким образом, анализируя результаты измерений, можно судить о факте срабатывания УВК, а также о его возврате в исходное положение или его «повисание» в нижней точке;
- крепление измерительного поста к траверсе требует доработки для снижения шумов осциллограммы из-за беспорядочных движений измерительного поста при срабатывании УВК.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Горелов, С.В. Инновационный опытно-конструкторский проект, направленный на повышение надежности и долговечности воздушных линий электропередачи / С.В. Горелов, Г.А. Данилов, П.Г. Шушара // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. №1.-С. 380-382.

2 Кручинин, М.А. Опытные промышленные испытания беспроводного диагностического комплекса линейных ограничителей перенапряжений / М.А. Кручинин, И.Г. Мироненко, М.В. Рябов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. - №2. -С. 235-236.

Работа выполнена при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ (ГК №16.526.11.6015 от 22 мая 2012 г.)

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *беспроводная связь, очистка проводов, сброс гололеда, устройство сброса гололеда*
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»*
Данилов Геннадий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Кручинин Максим Анатольевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
Рябов Максим Викторович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»*

ИННОВАЦИОННЫЙ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ПРОЕКТ, НАПРАВЛЕННЫЙ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Горелов, Г.А. Данилов, П.Г. Шушара

THE INNOVATIVE DEVELOPMENTAL PROJECT DIRECTED ON INCREASE OF RELIABILITY AND DURABILITY OF LINES OF AN ELECTRICITY TRANSMISSION

Novosibirsk state academy of water transport
V.P. Gorelov, G.A. Danilov, P.G. Shushara

Comparison of methods for de-icing the wire of power transmission line is executed. The device description for reset ice from the wire is provided.

Keywords: power line deicer, reset the ice, cleaning of wire

Выполнено сравнение методов сброса гололеда с проводов линий электропередач. Описано устройство для сброса гололеда.

Наиболее часто перебои в работе линий электропередачи ЛЭП возникают вследствие сложных погодных условий.

Гололедные образования на проводах возникают в результате попадания капель дождя и тумана, а также снега, изморози и других переохлажденных частиц. Гололедные образования приводят к появлению значительной механической нагрузки на провода, тросы и опоры в виде дополнительных вертикальных сил. Это снижает запас прочности проводов, тросов и опор линий.

На отдельных пролетах изменяются стрелы провеса проводов, провода сближаются, сокращаются изоляционные расстояния. В результате гололедных образований возникают обрывы проводов и поломки опор, сближения и схлестывания проводов с перекрытием изоляционных промежутков не только при перенапряжениях, но и при нормальном рабочем напряжении.

Существует несколько методов предотвращения и удаления гололедных отложений на проводах:

- пассивный метод, базирующийся на использовании естественных физических свойств материалов и процессов;
- использование активных покрытий и устройств;
- методы механического разрушения и удаления гололедных образований;
- методы теплового воздействия – плавка гололеда.

Пассивные методы не требуют использования дополнительных источников энергии и характеризуются воздействием таких факторов как ветер, гравитация, солнечная радиация, геометрические размеры и положение проводов ВЛ. Например, это провода со специальной аэродинамикой, затрудняющей налипание снега и т.п., что в совокупности с ограничителями кручения проводов, позволяет снизить размеры и массу наледи, а также приводит к уско-

ренному сбросу отложений в форме мокрого снега, гололеда или изморози.

К числу активных способов борьбы с гололедом могут быть отнесены специальные покрытия токоведущих проводов, которые подвержены нагреву за счет потерь на перемагничивание в материале покрытия. Указанный нагрев покрытия при определенных метеорологических условиях (низкая скорость ветра, относительно невысокая интенсивность гололедоносущего потока) может способствовать предотвращению отложений гололеда благодаря поддержанию температуры покрытия выше точки замерзания капель оседающей на проводах влаги.

Технология механических методов удаления основана на применении одного из двух известных альтернативных подходов. Первый предполагает удаление гололеда посредством его срезания. Устройство подобного типа представляет собой питаемую от аккумуляторных батарей перемещающуюся по проводу каретку, оснащенную режущими устройствами высокой прочности, взламывающими за счет толкающих усилий каретки гололедную муфту, освобождая провод от отложений. Второй подход основан на удалении отложений посредством возбуждения ударных волн изгиба или кручения провода, чтобы таким путем разрушить и сбросить гололедную муфту.

В настоящее время оба подхода механического метода подразумевают использование некоего отдельного устройства, закрепленного на проводе (как правило имеющего сложную конструкцию, состоящего из многих деталей и требующего внешнего электропитания).

Методы теплового воздействия предполагают использование средств повышения температуры проводов для предотвращения процесса гололедообразования или с целью создания необходимых условий для проплавления и сброса сформировавшихся гололедных муфт. Для организации плавки гололеда в различных странах применяются как установки, основанные на использовании переменного тока, так и системы плавки постоянным током. Однако для того, чтобы удалить гололед с достаточно протяженных линий, требуются источники значительной мощности.

Гололедные отложения на проводах имеют различную форму, структуру, плотность и размеры.

ООО «ЭЛЕКТРОМАШ» в рамках ОКР, при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ, предложила ранее не применяемый способ борьбы с гололедом и подобных явлений на проводах ЛЭП. Он заключается в использовании специального устройства возбуждения колебаний (УВК) включенного в состав изолирующей траверсы [1, 2].

Изолирующая траверса специального исполнения за счет узла возбуждения колебаний – УВК и подвижных креплений траверсы к стойке опоры ВЛ позволяет получить колебания при срабатывании УВК, характеризующиеся максимальной амплитудой, частотой и скоростью затухания (определяются экспериментально и расчетами в зависимости от типа провода, толщины гололеда, расстояниями между опорами), которые, в свою очередь, освобождают провод от гололедных отложений.

Срабатывание УВК происходит при достижении определенного порога суммарного вектора механических сил, действующих на траверсу, вызванных наличием гололедных отложений. После сброса гололеда, УВК автоматически (за счет потенциальной энергии упругих элементов в его конструкции) возвращается в исходное положение и готов к следующему циклу срабатывания не давая массе гололеда нарастать до критических величин при которых рвутся провода или же ломаются опоры ЛЭП. Таким образом, проблема обледенения проводов решается без применения человеческих ресурсов и дополнительных материальных и энергозатрат, поскольку УВК автономен и не требует вмешательства в течение всего срока службы [3]. На рисунке 1 представлен состав изолирующей траверсы специального исполнения и ее опытный образец.

В рамках ОКР был изготовлен испытательный стенд и испытательный полигон для подтверждения работоспособности изолирующей траверсы специального исполнения.

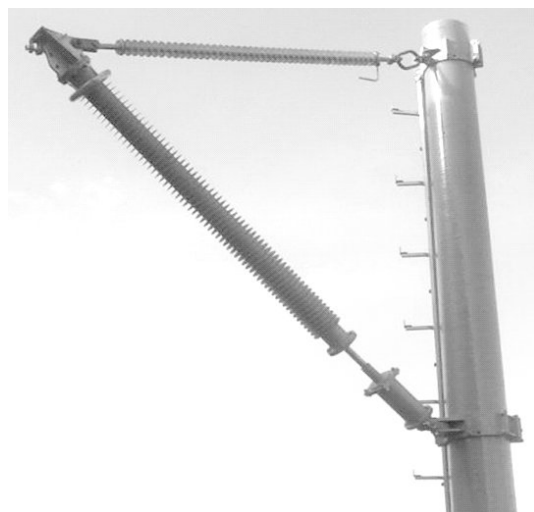


Рисунок 1 – Изолирующая траверса специального исполнения

Проведенные испытания подтвердили работоспособность изолирующей траверсы специального исполнения, что послужило толчком для создания испытательного полигона и проведения испытаний приближенных к реальным. На рисунке 2 представлено фото испытательного полигона.

В процессе работы над темой снежные и гололедные явления были квалифицированы на три класса:

Класс I – Снежные отложения (плотность от 0,05 до 0,50 г/см³);

Класс II – Рыхлый гололед (плотность от 0,55 до 0,65 г/см³);

Класс III – Гололед (плотность от 0,70-0,90 г/см³).

По результатам испытаний выяснилось следующее:

– ИТс сбрасывает все виды снежных отложений и рыхлый гололед плотностью до 0,65 г/см³ с эффективностью от 80 до 100% в зависимости от местных климатических условий;

– Гололедные явления плотностью 0,70-0,90 г/см³ ИТс сбрасывает частично с эффективностью от 10 до 30% в зависимости от местных климатических условий).

В Таблице отражена зависимость возможности сброса отложений ИТс от плотности отложений.



Рисунок 2 – Испытательный полигон

Таблица – Зависимость работоспособности ИТс от класса снежных и гололедных явлений

| Класс | Погодное явление | Плотность отложения, г/см ³ | Эффективность ИТс, % |
|-------|--|--|----------------------|
| I | Свежевыпавший снег | 0,05 | 80-100 |
| | Метель (кружак) | 0,12-0,18 | |
| | Весеннее таяние (мокрый снег) | 0,35-0,50 | |
| II | Переходная плотность (снег перестает быть снегом) | 0,55-0,65 | 10-30% |
| III | Замыкание воздушных пор, монолитная поликристаллическая порода-лед | 0,70-0,90 | |

Дальнейшая доработка ИТс позволит добиться устойчивых результатов по сбросу гололедных явлений с плотностью 0,70-0,90 г/см³ и с толщиной стенки до 25 мм.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Крылов, С.В. Конструкции изолирующих траверс опор линий электропередачи / С.В. Крылов // Энергетич. стр-во за рубежом. -1978. -№5.

2 Траверсы изолирующие полимерные для опор ВЛ 110-220 кВ. Общие технические требования, правила приёмки и методы испытаний: СТО 56947007.120.90.033-2009 /ОАО «ФСК ЕЭС».

3 Горелов, С.В. Способ сброса гололеда с проводов линий электропередачи / С.В. Горелов, Г.А. Данилов, П.Г. Шушара // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 139-142.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устройство для сброса гололеда линий электропередач, очистка провода, сброс гололеда

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Данилов Геннадий Александрович, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Шушара Павел Георгиевич, аспирант ФБОУ ВПО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФБОУ ВПО «НГАВТ»

О ПЕРЕКРЫТИЯХ ПО НЕВЫЯСНЕННЫМ ПРИЧИНАМ ГИРЛЯНД СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 110 кВ

ОАО «Тюменьэнерго»

Сургутские электрические сети, филиал ОАО «Тюменьэнерго»

В.Г. Боровицкий, В.Ф. Буткевич, А.Е. Грап

ABOUT UNEXPECTED FLASHOVERS OF GLASS INSULATION ON OVERHEAD TRANSMISSION LINES OF 110 kV

Tyumenenergo

Surgut electric networks, branch TyumenEnerg

V.G. Borovitsky, V.F. Butkevich, A.E. Grap

It is shown that closing of transmission lines of 110 kV occur mainly due to flashover of suspension string mounted from glass toughened insulators. Some dismantled strings demonstrated flashover voltages two times over the highest operated voltage even in wet condition. So the reasons of flashovers are not revealed.

Keywords: overhead power lines, disconnection, footprints of overlap, unexplained reasons the overlap

Рассмотрены отключения ВЛ 110 кВ преимущественно связанные с перекрытиями гирлянд изоляторов, хотя лабораторные испытания показали невозможность перекрытия. Поэтому причины перекрытий остаются невыясненными.

Обеспечение надёжного электроснабжения потребителей – одна из основных задач ОАО «Тюменьэнерго» как сетевой компании. Большая часть электроэнергии, которая передаётся по электрическим сетям, эксплуатируемым ОАО «Тюменьэнерго», потребляется на севере Тюменской области. Соответственно наиболее энергоёмкие и требовательные потребители размещены на севере Тюменской области. Это в основном нефтегазодобывающие компании. Сеть внешнего электроснабжения таких потребителей образована с помощью ВЛ-110 кВ и подстанций с высшим напряжением 110 кВ. Нарушение изоляции с последующим отключением ВЛ-110 кВ от центров питания действием устройств релейной защиты даже при успешном АПВ приводит к критическим нарушениям процессов добычи и транспорта углеводородного сырья. Персоналом филиалов ОАО «Тюменьэнерго», силами которого эксплуатируется практически вся сеть 110 кВ региона, места нарушений изоляции на ВЛ-110 кВ отыскиваются, случаи аварийных отключений ВЛ расследуются. Разрабатываются мероприятия по недопущению аналогичных случаев. Однако, далеко не все причины нарушений изоляции удаётся выявить и объяснить. Эпизодически происходят по невыясненным причинам (немотивированные или, другими словами, неподдающиеся объяснению) перекрытия гирлянд изоляторов ВЛ, в том числе как гирлянд стеклянных изоляторов так и полимерной изоляции. Несмотря на то, что доля их в общем числе аварийных отключений ВЛ и даже в сравнении только с числом отключений по причине грозовых воздействий невелика, отключения ВЛ из-за немотивированного перекрытия гирлянд изоляции вызывают серьёзную озабоченность эксплуатирующего персонала. Объяснение озабоченности вытекает, в первую очередь, из определения – «по невыясненным причинам». А отсюда – непонимание: когда, где, при каких условиях, в каких масштабах и с какими последствиями это повторится вновь.

Учитывая значительную величину объёмов применяемой на ВЛ ОАО «Тюменьэнерго» стеклянной изоляции, длительность её эксплуатации и несравнимо малые по объёму и срокам эксплуатации элементы ВЛ из полимерной изоляции, в дальнейшем продолжим рассмотрение только в отношении стеклянной изоляции ВЛ.

На рисунке 1 приведены фотографии типичных следов перекрытий гирлянд.

Анализ аварийных отключений воздушных линий 110 кВ ОАО «Тюменьэнерго» за пять последних лет (2008-2012 гг.) показал, что за этот период число аварийных отключений из-за перекрытий гирлянд стеклянных изоляторов по невыясненным причинам составило более 50 случаев. Необходимо отметить, что в указанное число авторами включены только те отключения, которым определение «немотивированные» соответствует без сомнений.

Для примера в таблице 1 приведён неполный перечень таких событий по филиалам ОАО «Тюменьэнерго».

Для выявления причин аналогичных перекрытий гирлянд изоляторов ВЛ-110 кВ филиалом ОАО «Тюменьэнерго» Сургутские электрические сети в 2008 году в инженерный центр ФГУП ВЭИ были направлены на испытания три гирлянды стеклянных изоляторов, демонти-

рованных с ВЛ-110 кВ после их перекрытия по невыясненным причинам.



Рисунок 1 – Следы перекрытия на нижнем и верхнем изоляторах гирлянды на опоре №1 отпайки на ПС Форпост ВЛ-110 кВ «Полоцкая-Конденсат»

Таблица 1 – Место и время перекрытия изоляции на ВЛ-110 кВ

| Наименование ВЛ (фаза), номер опоры | Дата, время АПВ | Тип изолятора | Погодные условия | Характеристика местности |
|-------------------------------------|---------------------------|---------------|------------------|--------------------------|
| Ишим-Абатск (В), №13 | 08.07.2009, 05:51 УАПВ | ПС-70А | без осадков | непахотные поля |
| Ишим-Казанка (А), №10 | 21.08.2010, 05:56 УАПВ | ПС-6Б | без осадков | залесенная |
| Ишим-Бердюжье (В), №124 | 05.09.2010, 06:12 УАПВ | ПС-6А | дождь | луга |
| Заводоуковск-Омутинка (С), №222 | 07.08.2008, 06:17 УАПВ | ПС-70Д | без осадков | пахотные земли |
| Садовая-Кошевая (А), №42 | 09.03.2012, 10:52 УАПВ | ПСГ-70Д | без осадков | залесенная |
| ТТЭЦ1-ТТЭЦ2-2 (В), №5 | 03.05.2010, 18:30 НАПВ | СЦ-70 | мелкий дождь | населенная местность |
| Ожогино-Сибжилстрой-1 (А), №54 | 18.10.2012, 01:17 УАПВ | ПС-70Д | без осадков | непахотные поля |
| Полоцкая-Пимская-1 (С), №194 | 20.01.2008, 15:23 УАПВ | ПС-70 | слабый снег | заболоченная |
| холмогорская-Вышка-1 (В), №45 | 05.07.2008, 23:14 НАПВ | ПС-70Д | без осадков | заболоченная |

В таблицах 2 и 3 приведены некоторые из результатов испытаний.

Таблица 2 – Средние разрядные напряжения, и среднеквадратичные отклонения гирлянд стеклянных изоляторов 110 кВ при воздействии напряжения промышленной частоты

| Тип гирлянды | Условия проведения испытаний | | | | | | | |
|--------------|------------------------------|--------------|------------------|--------------|-----------------------------------|--------------|---------------------------|--------------|
| | в сухом состоянии | | при наличии росы | | дождь нормированной интенсивности | | дождь малой интенсивности | |
| | U_{cp} , кВ | σ , % | U_{cp} , кВ | σ , % | U_{cp} , кВ | σ , % | U_{cp} , кВ | σ , % |
| 8×ПС-6А | 380 | 4,6 | 375 | 1,4 | 300* | —* | —* | —* |
| 8×ПС-70Д | 415 | 1,7 | 350 | 1,9 | 275 | 6,1 | 295 | — |
| 7×ПСД-70Е | 410 | 1,2 | 320 | 2,4 | 165 | 1,4 | 260 | 3,4 |

*-не удалось определить значение, так как при первом воздействии напряжения при испытании под дождём произошло разрушение второго и третьего изоляторов

Из экспериментальных данных видно, что наибольшая электрическая прочность гирлянд изоляторов обеспечивается при их испытаниях в сухом состоянии. В этом случае, перекрытие гирлянд разрядом осуществляется, как правило, по воздуху и лишь для гирлянды 8×ПС-6А имел место смешанный характер перекрытия (частично по поверхности изоляторов). Этим можно объяснить более низкие значения среднего разрядного напряжения и бо-

лее высокие величины разброса разрядных напряжений у этой гирлянды по сравнению с другими.

Таблица 3 – Выдерживаемые напряжения, гирлянд стеклянных изоляторов при воздействии напряжения промышленной частоты, кВ

| Тип гирлянды | Условия проведения испытаний | | | |
|--------------|------------------------------|------------------|-----------------------------------|---------------------------|
| | в сухом состоянии | при наличии росы | дождь нормированной интенсивности | дождь малой интенсивности |
| 8×ПС-6А | 330 | 360 | – | – |
| 8×ПС-70Д | 395 | 330 | 225 | – |
| 7×ПСД-70Е | 395 | 295 | 160 | 235 |

При наличии росы электрическая прочность гирлянд снижалась, но для гирлянды снижение было пренебрежимо малым, для гирлянды 8×ПС-70Д оно составляло около 16% и для гирлянды из грязестойких изоляторов 7×ПСД-70Е - 22%. Подобное поведение разрядных характеристик хорошо коррелировало с траекториями каналов перекрытия. При наличии росы гирлянда изоляторов ПС-6А перекрывалась в основном по воздуху, а перекрытие других гирлянд затрагивало поверхности изоляторов.

Наибольшее снижение прочности по сравнению с прочностью в сухом состоянии происходило под влиянием дождя нормированной интенсивности: 34% для гирлянды 8×ПС-70Д и 60% для 7×ПСД-70Е. Уменьшение интенсивности дождя приводило к снижению его негативного влияния на электрическую прочность гирлянд изоляторов.

Из таблицы 2 видно, что даже для гирлянды изоляторов 7×ПСД-70Е, обладающей наименьшей электрической прочностью под дождём значение выдерживаемого напряжения составило 160 кВ, что более чем в два раза превышает значение наибольшего рабочего фазного напряжения линии – 73 кВ. Это означает, что вероятность перекрытия единичных испытанных гирлянд изоляторов при наибольшем рабочем напряжении практически сведена к нулю.

К выводам по результатам испытаний можно добавить, что причиной нарушений изоляции на ВЛ-110 кВ не является состояние изоляторов гирлянд (наличие дефектов, допущенных при изготовлении, результат старения изоляции, в том числе наличие поверхностных микротрещин на стекле и т.д.). Без сомнения, любая из указанных причин была бы выявлена при проведении испытаний. Кроме того, необходимо учитывать, что гирлянды, предоставленные на испытания, до этого только однажды – при перекрытии по невыясненным причинам, были подвержены воздействию электрической дуги. Это подтверждено результатами осмотров изоляции ВЛ после аварийных отключений, в ходе которых проводилось отыскание фактических мест повреждений на ВЛ и подтверждение их соответствия расчётным местам повреждений, определённым по показаниям фиксирующих приборов. При этом установлено, что каких-либо замечаний до рассматриваемого перекрытия исследованные гирлянды не имели.

К однозначным выводам о невозможности перекрытия испытанных гирлянд при наибольшем рабочем напряжении даже при самых неблагоприятных погодных условиях – дожде можно также добавить, что условия загрязнения изоляции в местах эксплуатации испытанной изоляции отсутствуют.

Конечно, при испытаниях напряжением промышленной частоты гирлянд изоляторов под росой в лабораторных условиях невозможно создать полное соответствие реальным погодным условиям: по влажности окружающего воздуха; по наличию ветра, его силе и направлению; по наличию конвекции в слоях воздуха, окружающего гирлянду изоляторов, при его прогреве. Вероятно, степень влияния этих дополнительных факторов на способствование развитию разряда при его «провокации» требует отдельного внимательного рассмотрения.

На большей части найденных мест перекрытия было видно, что воздействию дуги подвергались первый – второй изолятор гирлянды от места крепления к траверсе опоры. При воздействии рабочего напряжения промышленной частоты эти изоляторы являются наименее нагруженными. Поверхности большей части остальных изоляторов гирлянд не имеют следов воздействия дугового разряда. Ответная метка на проводе в результате воздействия дуги в ряде случаев находилась не в месте крепления провода, а на некотором расстоянии от него. Можно утверждать, что перекрытия не были спровоцированы состоянием поверхности изоляторов.

Обследование мест перекрытий от грозовых перенапряжений показали наличие характерных особенностей: следов воздействия дугового разряда только на первых (чаще на одном) изоляторах от места крепления к траверсе опоры и ответных меток дуги перекрытия на удалении от места крепления провода к гирлянде.

Анализ результатов проведённых ИЦ ФГУП ВЭИ испытаний гирлянд стеклянных изоляторов, подвергшихся в эксплуатации по невыясненным причинам перекрытиям электрической дугой; сравнение характера и следов перекрытий изоляции от грозовых воздействий и от перекрытий по невыясненным причинам позволяют сделать следующие выводы:

1 Перекрытия по невыясненным причинам не связаны напрямую с какими-либо дефектами изоляции, появившимися при изготовлении или во время эксплуатации.

2 Можно предположить, что перекрытия изоляции, связанные с её загрязнением имеют схожий характер с перекрытиями при испытаниях с увлажнением изоляции дождём. При этом значительная часть пути перекрытия проходит по поверхности изоляции.

3 Характеры следов перекрытий от грозовых воздействий и перекрытий изоляции по невыясненным причинам схожи, а именно: наличие следов перекрытий преимущественно только на первых от траверс изоляторах, а следов ответных меток не всегда вблизи крепления провода, но часто только на некотором удалении от него; указывают на схожесть процессов развития дуговых разрядов.

4 Необходимо подтверждение или опровержение опытным путём вероятной связи перекрытий по невыясненным причинам с локальными перенапряжениями [1] которые могут формироваться при пуске-останове мощных синхронных электродвигателей, отключении отпаечных подстанций и (или) сбросах нагрузки и т.д.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Боровицкий, В.Г. Отключения отпаечных линий ВЛ 110 кВ. Влияние высокочастотных перенапряжений / В.Г. Боровицкий, А.Г. Овсянников // Новости электротехники. -2012. -№ 6. -С. 58-60.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *воздушные линии электропередачи, отключения, следы перекрытия, невыясненные причины перекрытия*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Боровицкий Василий Геннадьевич, зам. главного инженера ОАО «Тюменьэнерго»
Буткевич Виталий Федотович, главный инженер Сургутские электрические сети, филиал
ОАО «Тюменьэнерго»
Грап Александр Евгеньевич, начальник службы Сургутские электрические сети, филиал
ОАО «Тюменьэнерго»*

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *628412, Тюменская область (ХМАО-Югра), г. Сургут, ул. Университетская, 4, ОАО «Тюменьэнерго»
628404, Тюменская область (ХМАО-Югра), г. Сургут, ул. 30 лет Победы, 34, Сургутские
электрические сети, филиал ОАО «Тюменьэнерго»*

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

| | |
|--|----|
| Минеев В.И., Костров С.В. ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕВОЗОК ГРУЗОВ ВОДНЫМ ТРАНСПОРТОМ..... | 3 |
| Маслеников С.Н., Никифоров В.С., Субботин Ю.А., Елисеева Д.А., Кравчук А.С., Чикулаева Н.В. ОПЫТ И ТЕНДЕНЦИИ ОРГАНИЗАЦИИ ГРУЗОВЫХ ПЕРЕВОЗОК В ОБЬ-ИРТЫШСКОМ БАССЕЙНЕ..... | 6 |
| Буковинин П.В. ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФОРМИРОВАНИЯ АНТИ-КРИЗИСНЫХ ПОДХОДОВ К РЕГУЛИРОВАНИЮ СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ «ГОРОД-ГРАДООБРАЗУЮЩЕЕ ПРЕДПРИЯТИЕ» | 11 |
| Синицын М.Г. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТНЫХ СРОКОВ РАБОТЫ СУДОВ НА ПРИТОКАХ МАГИСТРАЛЬНЫХ РЕК | 15 |
| Пивоваров П.В. ПАССАЖИРСКИЕ ПЕРЕВОЗКИ КАК ОБЪЕКТ УПРАВЛЕНИЯ | 19 |
| Кабалин О.Н. РАЗВИТИЕ СИСТЕМЫ ЛИКВИДАЦИИ ПОСЛЕДСТВИЙ ЧРЕЗВЫЧАЙНОЙ СИТУАЦИИ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ ТРАНСПОРТЕ | 21 |
| Еремеев Д.В. К ВОПРОСУ О ВЗАИМОСВЯЗИ ИННОВАЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ПРЕДПРИЯТИЯ И ЕГО КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ..... | 25 |
| Седова Н.А. НЕЧЁТКАЯ СИСТЕМА ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТЕПЕНИ ВЛИЯНИЯ МЕЛКОВОДЬЯ..... | 27 |
| Кабалина А.В. УПРАВЛЕНИЕ ГРУЗОПОТОКАМИ НА СЕТИ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ | 30 |
| Смирнов В.А. ЦЕЛЕВЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРЕДПРИЯТИЙ ПО РЕМОНТУ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА | 32 |
| Костров С.В. КОНЦЕПЦИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КАК ОСНОВА ФОРМИРОВАНИЯ КОНКУРЕНТОСПОСОБНЫХ КОМБИНИРОВАННЫХ ПЕРЕВОЗОК НА ВОДНОМ ТРАНСПОРТЕ | 38 |
| Мигунова М.И., Елгина Е.А. ИНВЕСТИЦИОННЫЙ НАЛОГОВЫЙ КРЕДИТ, КАК ЭЛЕМЕНТ НАЛОГОВОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ОРГАНИЗАЦИЙ | 42 |
| Кречетова К.А. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ УСТАНОВЛЕНИЯ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА НА РЕГИОНАЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ СЕТИ | 45 |
| Бунеев В.М. ЭФФЕКТИВНОСТЬ МЕНЕДЖМЕНТА СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ | 49 |
| Островский А.М., Лисютин А.М. О ПОВЫШЕНИИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРОЦЕССА РОСПУСКА ВАГОНОВ, ЗАГРУЖЕННЫХ ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ, С СОРТИРОВОЧНЫХ ГОРОК..... | 52 |
| Островский А.М., Лисютин А.М. ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ПОСТАНОВКИ ВАГОНОВ С ОПАСНЫМИ ГРУЗАМИ НА ПУТИ СОРТИРОВОЧНОГО ПАРКА..... | 56 |
| Павленко Р.И. КАДРОВЫЕ ВОПРОСЫ В СИСТЕМЕ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА | 59 |
| Сольская И.Ю., Кузьмина П.И. ПОВЫШЕНИЕ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ УЧРЕЖДЕНИЯ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ | 61 |
| Еремеева С.В. ОСОБЕННОСТИ ИННОВАЦИОННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ НАУКОЕМКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ | 64 |
| Буинцева Ю.М., Артыкова С.Н. НЕРАВНОМЕРНОСТЬ ПАССАЖИРСКИХ ПЕРЕВОЗОК ДАЛЬНЕГО СЛЕДОВАНИЯ И ПУТИ ЕЕ ПРЕОДОЛЕНИЯ | 67 |
| Почесуева Ю.Ю. МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО ПРОЦЕССА С ПОМОЩЬЮ АППАРАТА ГИБРИДНЫХ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ | 72 |
| Трунин Е.Г. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ РЕЧНЫХ ПОРТОВ | 74 |
| Попенко А.С. ГОРЮЧЕ-СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ КАК ОСНОВНАЯ СТАТЬЯ РАСХОДОВ В РАБОТЕ ТРАНСПОРТНОГО ФЛОТА | 77 |
| Воробьев В.С., Манаков А.Л. КОНЦЕПЦИЯ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ОРГАНИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА ИНФРАСТРУКТУРНОГО КОМПЛЕКСА ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ | 81 |
| Чечулина Ю.А., Югрин О.П. РАБОТА СОРТИРОВОЧНОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ПЕРЕХОДА К ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ ПО ТВЕРДОМУ ГРАФИКУ | 85 |
| Комаров К.Л., Шерстобитов Д.С. ИССЛЕДОВАНИЕ СОСТОЯНИЯ И НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ ГОРОДСКОГО ОБЩЕСТВЕННОГО ПАССАЖИРСКОГО ТРАНСПОРТА ГОРОДОВ И ГОРОДСКИХ АГЛОМЕРАЦИЙ СИБИРИ (НА ПРИМЕРЕ г.КРАСНОЯРСКА И г.НОВОСИБИРСКА)..... | 88 |

СОДЕРЖАНИЕ

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

| | |
|--|-----|
| Щербинина М.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЕРОЯТНОСТИ БЕЗОТКАЗНОЙ РАБОТЫ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ В ТЕЧЕНИЕ ПЕРИОДА СТРАХОВАНИЯ..... | 91 |
| Давыдов А.И., Никифоров М.М. ЦЕЛЕВЫЕ ИНДИКАТОРЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТЯГИ ПОЕЗДОВ..... | 93 |
| Лунина Т.А., Прудников А.А. МОДЕЛИРОВАНИЕ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ, КАК СРЕДСТВО ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ РЕСУРСОВ СЛУЖБЫ ПУТИ | 96 |
| Дмитренко А.В., Перепельцев В.Л. ВЫБОР СПОСОБА РАБОТЫ ТУПИКОВОГО УЧАСТКА ДЛЯ УСЛОВИЙ НЕРАВНОМЕРНОСТИ В РАБОТЕ МАГИСТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ | 99 |
| Дёмин Ю.В., Скотников Д.С., Герасименко А.С., Ивашкин С.В., Иванов Г.В., Мозилов А.И., Сычева Н.А. ПРОЦЕССЫ КОРРОЗИИ В ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЯХ..... | 102 |
| Аношенко Д.А. ОЦЕНКА НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ | 106 |
| Четвериков С.В., Налабордин Д.Г., Горских С.А. ВЕРОЯТНОСТНАЯ МОДЕЛЬ ОЖИДАЕМОГО ЧИСЛА ЗАМЕН КОЛЕСНЫХ ПАР ПАССАЖИРСКИХ ВАГОНОВ В УСЛОВИЯХ ЗАБАЙКАЛЬСКОЙ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ..... | 109 |
| Аношенко Д.А., Савельев Ю.Н. МЕТОДИКА ОЦЕНКИ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ТОННЕЛЬНОЙ ОБДЕЛКИ С УЧЕТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ГРУНТОВ | 111 |
| Репина И.Б. ВЕРОЯТНОСТНЫЙ ПОДХОД К УЧЕТУ ВЛИЯНИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ФАКТОРА НА ОТКАЗЫ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА..... | 114 |
| Михайлова Т.Н., Пилипенко Т.В. АНАЛИЗ ХАРАКТЕРА ПОДТОПЛЕНИЯ ПРАВОБЕРЕЖНОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ОБЬ НА УЧАСТКЕ ПЕРВОМАЙСКОГО И СОВЕТСКОГО РАЙОНОВ | 117 |
| Бройтман А.Ш. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕИМУЩЕСТВА БОЛЬВЕРКОВ ИЗ ШПУНТОВ ТРУБЧАТЫХ СВАРНЫХ..... | 119 |
| Гольшев Н.В., Седых Н.А. РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОПЕРАТИВНОГО АНАЛИЗА ОБЪЕМНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ УЧАСТКА РУСЛА | 123 |
| Ботвинков В.М., Печеркин С.В. ОСОБЕННОСТИ УЛУЧШЕНИЯ СУДОХОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПЕРЕКАТАХ СО СЛОЖНЫМИ ГЕОЛОГИЧЕСКИМИ УСЛОВИЯМИ..... | 127 |
| Ботвинков А.В. РЕГУЛИРОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО РЕЖИМА НА МНОГОРУКАВНЫХ УЧАСТКАХ РЕК | 130 |
| СУДОВОЖДЕНИЕ | |
| Сичкарев В.И. ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ТОЧНОСТИ ПРОГНОЗА ДВИЖЕНИЯ ЦИКЛОНА МЕТОДОМ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ЭКСТРАПОЛЯЦИИ | 132 |
| Саленек В.В. УЧЁТ СКОРОСТИ ТЕЧЕНИЯ ПРИ ДВИЖЕНИИ СУДНА НА ПОВОРОТЕ РЕКИ | 136 |
| Осипов В.И. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ПРОГИБА КОРПУСА СУДНА..... | 139 |
| Маликова Т.Е., Шпак А.С. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СМЕЩАЮЩИХСЯ ГРУЗОВ С ДИСКРЕТНОЙ РАСПОРНОЙ СТРУКТУРОЙ | 142 |
| Комаровский Ю.А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ С ПОМОЩЬЮ GPS-БУЯ РАДИУСА УСТАНОВИВШЕЙСЯ ЦИРКУЛЯЦИИ СУДНА НА ТЕЧЕНИИ..... | 145 |
| Кац В.А., Комаровский Ю.А. ФИГУРА ПОГРЕШНОСТЕЙ КООРДИНАТ СУДОВОГО ПРИЁМНИКА GP 37 ВБЛИЗИ МОРСКИХ УСТАНОВОК И СООРУЖЕНИЙ | 148 |
| Веселов Г.В., Ионов С.Е., Минеев В.И., Новик В.А. ПРОБЛЕМЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ СУДОХОДСТВА НА ВНУТРЕННИХ ВОДНЫХ ПУТЯХ | 155 |
| Куличихин М.И., Развозов С.Ю. АНАЛИЗ РАБОТЫ СУДОВ С ДВИЖИТЕЛЯМИ АЗИПОД В ЛЕДОВЫХ УСЛОВИЯХ..... | 158 |
| Борисова Л.Ф., Холодов Г.Г. ПРОБЛЕМЫ БЕЗОПАСНОСТИ МОРЕПЛАВАНИЯ ПРИ ДОБЫЧЕ И ТРАНСПОРТИРОВКЕ УГЛЕРОДОСОДЕРЖАЩЕГО СЫРЬЯ В ЕВРО-АРКТИЧЕСКОМ РЕГИОНЕ | 162 |
| ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА | |
| Баранов А.В., Тарасевич С.В., Вагнер В.А. УЛУЧШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МИНЕРАЛЬНЫХ МАСЕЛ | 166 |
| Кулманаков С.П., Кулманаков С.С. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОПОРШНЕВОЙ МИНИ-ТЭЦ..... | 168 |
| Чупраков Е.В. ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО РАСПОЛОЖЕНИЯ ПОДШИПНИКОВ В ОСИ КОЛЕСНОЙ ПАРЫ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОГО ИСПОЛНЕНИЯ | 171 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Макаров С.В., Гурова Е.Г., Ледовских А.В. МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ПУСКА ДИЗЕЛЯ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА ТЭМ-2..... | 175 |
| Манаков А.Л., Кочергин В.И., Алехин А.С. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВНУТРИЦИКЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ВРАЩЕНИЯ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА ДЛЯ ОЦЕНКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ..... | 178 |
| Арабьян Л.К., Кононенко А.Ю. О ПЕРСПЕКТИВЕ ПРИМЕНЕНИЯ КОМПОЗИТОВ В ПОДКРЕПЛЕНИИ СУДОВЫХ КОНСТРУКЦИЙ..... | 182 |
| Ступаков С.А., Филиппов В.М., Тарасенко А.В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНАШИВАНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТАКТНЫХ ПАР..... | 184 |
| Ковальский Б.И., Кравцова Е.Г., Шумовский И.А., Малышева Н.Н., Шрам В.Г. ТЕХНОЛОГИЯ УВЕЛИЧЕНИЯ РЕСУРСА СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ..... | 187 |
| Горлова Н.Н., Бакланов А.Е., Титова Е.В., Александрова Л.С. ПРИМЕНЕНИЕ ОКСИДА ХРОМА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ..... | 190 |
| Горлова Н.Н., Мельберт А.А., Печеникова Д.С., Новоселова Т.В., Дорофеева Н.Е. ПРИМЕНЕНИЕ ХРОМА В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ ОТ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ..... | 194 |
| Новоселов А.А., Новоселов А.Л., Бакланов А.Е., Горлова Н.Н. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ОКАЛИНЫ СТАЛИ В СИСТЕМАХ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ..... | 197 |
| Ткаленко Н.С. ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДИЗЕЛЬ РЕДУКТОРНОГО АГРЕГАТА ПО ОТКЛИКУ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК..... | 200 |
| Кича Г.П., Надежкин А.В., Пак Н.К. САМОРЕГЕНЕРИРУЮЩИЙСЯ ФИЛЬТР НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ОЧИСТКИ ТОПЛИВ И СМАЗОЧНЫХ МАСЕЛ НА СУДАХ..... | 203 |
| Медведев Г.В., Мельберт А.А., Новоселов А.А., Новоселов А.Л. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ОЧИСТКИ ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ ДИЗЕЛЕЙ В КОМПОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ, СОДЕРЖАЩИХ НИКЕЛЬ..... | 207 |
| Куделин О.Г., Миронова Н.А., Николаев А.Г. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ..... | 211 |
| Вельц Я.Я. НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОЧИСТКИ ДЕТАЛЕЙ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ..... | 213 |
| Кукис В.С., Малозёмов А.А., Романов В.А. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ВИХРЕВОЙ ТРУБЫ РАНКА-ХИЛША ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОНОМИЧЕСКИХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИХ, ПОКАЗАТЕЛЕЙ КОМБИНИРОВАННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ..... | 216 |
| Фомичев П.А., Фомичева Е.В. СТАТИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ..... | 219 |
| Фомичев П.А., Фомичева Е.В. ДИНАМИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ УПРУГИХ НЕЛИНЕЙНЫХ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩИХ ОПОР НОВОГО ПОКОЛЕНИЯ..... | 221 |
| Шувалов Г.В., Ильин А.П., Половинкин В.Н., Клековкин И.В., Ясырова О.А. ПАРАМЕТРЫ ТЕРМИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ НАНОПОРОШКОВ МЕТАЛЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ МОДИФИКАЦИИ СВОЙСТВ НЕФТЕПРОДУКТОВ..... | 223 |
| Шувалов Г.В., Мамонов А.А., Половинкин В.Н., Клековкин И.В. ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЕМКОСТНОГО УРОВНЕМЕРА УСТАНОВКИ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО КОЭФФИЦИЕНТА ОБЪЕМНОГО РАСШИРЕНИЯ НЕФТЕПРОДУКТОВ..... | 226 |
| Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Клековкин И.В., Ясырова О.А. ПРИБОР ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ..... | 229 |
| Глушков С.П., Донец Н.А., Каргин В.А. АППРОКСИМАЦИЯ СОБСТВЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ БАЛКИ С ПОМОЩЬЮ ПОЛИНОМИАЛЬНОЙ ФУНКЦИИ ПРИ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ БАЛКИ С ПОВРЕЖДЕНИЯМИ С ДВИЖУЩЕЙСЯ ПО НЕЙ МАССОЙ..... | 232 |
| Глушков С.П., Глушков С.С., Лебедев О.Б., Коновалов В.В. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЫНУЖДЕННЫХ КОЛЕБАНИЙ ВАЛОВЫХ ЛИНИЙ СУДОВЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК..... | 237 |
| Кича Г.П., Надежкин А.В., Пак Н.К. ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗНАШИВАНИЯ СУДОВОГО ДИЗЕЛЯ ПРИ ЕГО ФУНКЦИОНИРОВАНИИ В СОСТАВЕ КОМПЛЕКСА «ДВИГАТЕЛЬ-ТОПЛИВО-МАСЛО»..... | 242 |
| Токарев А.О. УПРОЧНЕНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ИЗНОСОСТОЙКИМИ ПОКРЫТИЯМИ..... | 246 |
| Ришко Ю.И., Барановский А.М. ВИБРОЗАЩИТНАЯ ПОДВЕСКА С ГИБКИМ ОСНОВАНИЕМ..... | 250 |
| ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА | |
| Бурков А.Ф. ИССЛЕДОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ РЕЖИМОВ СУДОВЫХ ПАЛУБНЫХ МНОГОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ..... | 254 |
| Бурков А.Ф. АНАЛИЗ ОПЫТА ЭКСПЛУАТАЦИИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ..... | 257 |
| Бурков А.Ф. ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАДЕЖНОСТИ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ..... | 260 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|---|-----|
| Крицкий Н.Д. КЛАССИФИКАЦИЯ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ | 263 |
| Денчик Ю.М., Сальников В.Г., Гноевой А.В. СОСТАВЛЯЮЩИЕ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ ПРИ ГАРМОНИЧЕСКОМ ВОЗДЕЙСТВИИ | 267 |
| Дементьев Ю.Н., Умурзакова А.Д. АЛГОРИТМ КОНТРОЛЯ УГЛОВОЙ СКОРОСТИ ДВИГАТЕЛЯ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ..... | 270 |
| Дёмин Ю.В., Скотников Д.С., Герасименко А.С., Ивашкин С.В., Иванов Г.В., Мозилов А.И. КАРТЫ ОЦЕНКИ СРОКА СЛУЖБЫ ОПОР ИЗ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА | 272 |
| Петрова Е.В., Бигун А.Я., Гиршин С.С., Христоч Д.Е., Хацевский К.В. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ РАСЧЕТА ТЕМПЕРАТУРЫ И ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ПРОВОДАХ ПОВЫШЕННОЙ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ПРИ ВАРИАЦИИ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ И НАГРУЗКИ | 275 |
| Лютаревич А.Г., Грузд А.В., Лохман Е.А. МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫМИ МАГНИТАМИ..... | 280 |
| Петрова Е.В., Гиршин С.С., Горюнов В.Н., Христоч Д.Е. УЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОЙ ЗАВИСИМОСТИ СОПРОТИВЛЕНИЯ НЕИЗОЛИРОВАННОГО ПРОВОДА ПРИ ВЫБОРЕ МЕРОПРИЯТИЙ ПО СНИЖЕНИЮ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ НА ПРИМЕРЕ КОМПЕНСАЦИИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ..... | 284 |
| Петрова Е.В., Горюнов В.Н., Гиршин С.С., Кириченко Н.В., Кузнецов Е.А. ИССЛЕДОВАНИЕ ДОСТОВЕРНОСТИ РАСЧЕТОВ ТЕМПЕРАТУРЫ ПРОВОДНИКОВ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ КОМПЛЕКСОМ ПРОГРАММ OM1 | 291 |
| Планков А.А., Осипов Д.С., Бугреева А.Е., Долгих Н.Н., Вырва А.А. ИССЛЕДОВАНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ПОДКЛЮЧЕНИИ НАГРУЗОК, ИСКАЖАЮЩИХ СИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ | 296 |
| Баляев Н.Г., Однокопылов И.Г. ИССЛЕДОВАНИЯ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЕМА МОСТОВОГО КРАНА..... | 300 |
| Шелпаков М.А., Однокопылов И.Г. ИССЛЕДОВАНИЕ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЛИФТА В MATLAB SIMULINK..... | 304 |
| Литвак В.В., Богданов Е.П. ОБСЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ СИБИРИ..... | 308 |
| Кузнецов А.Ю. ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ МОМЕНТ В СТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМАХ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПРИ ПИТАНИИ ОТ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ | 310 |
| Харламов В.В., Шкодун П.К., Долгова А.В. ОЦЕНКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ИЗНОСА КОЛЛЕКТОРА ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА..... | 313 |
| Буйносов А.П., Мишин Я.А. АНАЛИЗ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ВЛ11 НА ОСНОВЕ ПРИНЦИПА ПАРЕТО И ДИАГРАММЫ ИСИКАВЫ..... | 317 |
| Левин В.М. МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ КРИТИЧЕСКИХ ДЕФЕКТОВ В СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРАХ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОВОЙ ХРОМАТОГРАФИИ..... | 320 |
| Матвеева К.В., Гросс В.Ю., Жаров А.В. МЕТОДОЛОГИЯ SADT КАК СПОСОБ ОПИСАНИЯ СИСТЕМ ВИБРОЗАЩИТЫ | 324 |
| Кондратьев Ю.В., Кузнецов А.А., Кващук В.А., Кремлев И.А. ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭЛЕКТРОБЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ПРЕДНАМЕРЕННОМ РАЗЗЕМЛЕНИИ ОПОР КОНТАКТНОЙ СЕТИ НА УЧАСТКАХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА..... | 328 |
| Манусов В.З., Морозов П.В. ОЦЕНКА ПОТЕРЬ МОЩНОСТИ ИЗ-ЗА НЕСИММЕТРИИ ПО НАПРЯЖЕНИЮ ДЛЯ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ СКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА..... | 331 |
| Манусов В.З., Морозов П.В., Морозов Ю.В. СНИЖЕНИЕ НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТИ ТОКА НА ВТОРИЧНЫХ ОБМОТКАХ ТЯГОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА СКОТТА | 333 |
| Исмаилов Ш.К., Юрасов О.Д., Гателюк О.В., Бублик В.В., Юрасов Д.В. ВЛИЯНИЕ РАСХОЖДЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАВЕРС ТЯГОВЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА КАЧЕСТВО КОММУТАЦИИ..... | 335 |
| Слободян С.М., Усов Ю.П. ОЦЕНКА СМЕЩЕНИЯ ОСЕЙ КОНТАКТА ВАКУУМНОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ | 339 |
| Тарасов Е.В. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ВЗРЫВА ПРОВОДНИКА В ТРАНСФОРМАТОРНОМ МАСЛЕ..... | 343 |
| Гурова Е.Г. К ПРОЕКТИРОВАНИЮ ТРЕХОСНОГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО КОМПЕНСАТОРА ЖЕСТКОСТИ..... | 347 |
| Третьяков Е.А., Краузе А.В. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ КАЧЕСТВОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА | 350 |
| Иванов М.Н., Данилов Г.А., Боровицкий В.Г., Манчук Г.Р., Рябов М.В., Данилов А.Г. РАЗРАБОТКА ВАРИСТОРОВ ДЛЯ НЕЛИНЕЙНЫХ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ | 353 |

СОДЕРЖАНИЕ

| | |
|--|-----|
| Данилов А.Г., Данилов Г.А., Духновская О.Н., Солодская В.В., Кручинин М.А., Манчук Г.Р. СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ МЕРОПРИЯТИЙ, ПОВЫШАЮЩИХ НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ | 357 |
| Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Руппель Е.Ю. РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ СРЕДСТВАМИ LABVIEW | 362 |
| Устинов А.В. СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПЕРИОДИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ..... | 365 |
| Когут А.Т., Лаврухин А.А. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ НЕЛИНЕЙНОГО МНОГОКАНАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В СИСТЕМЕ ДИАГНОСТИКИ ТЯГОВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ..... | 368 |
| Гарев Н.Н. ПОСТРОЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ ПРОЦЕССОМ ОХЛАЖДЕНИЯ БЛОКА БАЛЛАСТНЫХ РЕЗИСТОРОВ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА | 373 |
| Горелов В.П., Данилов Г.А., Кручинин М.А., Рябов М.В. ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫЕ ИСПЫТАНИЯ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ЧИСЛА СРАБАТЫВАНИЯ УСТРОЙСТВА СБРОСА ГОЛОЛЕДА | 377 |
| Горелов В.П., Данилов Г.А., Шушара П.Г. ИННОВАЦИОННЫЙ ОПЫТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ПРОЕКТ, НАПРАВЛЕННЫЙ НА ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ И ДОЛГОВЕЧНОСТИ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ | 380 |
| Боровицкий В.Г., Буткевич В.Ф., Грап А.Е. О ПЕРЕКРЫТИЯХ ПО НЕВЫЯСНЕННЫМ ПРИЧИНАМ ГИРЛЯНД СТЕКЛЯННЫХ ИЗОЛЯТОРОВ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ 110 кВ | 383 |

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №2 журнала за 2013 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высылать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konvalov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 25 октября 2013 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №2 журнала за 2013 год

| | на русском языке | на английском языке |
|---|------------------|---------------------|
| НАЗВАНИЕ СТАТЬИ (без каких-либо сокращений и символов) | | |
| Аннотация (до 300 знаков) | | |
| <i>Ключевые слова</i> (не более 10 слов) | | |
| Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес) | | |
| Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, ученое звание, занимаемая должность) | | |
| Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*) | | |

*-номер мобильного телефона необходим для оперативного решения возможных вопросов по поводу публикации 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 (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD 2003 (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия на публикацию научной статьи.
- 3 Заверенная рецензия (оригинал) и ее электронная копия (от компетентного по тематике статьи лица, с полным указанием ФИО, ученой степени, ученого звания, должности и почтового адреса организации).
- 4 Графический материал не подлежит правке при наборе (при выполнении рисунков поясняющий текст должен быть разборчив); размеры рисунка не более 15×15 см; глубина цвета – оттенки серого.
- 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, должны быть ссылки в тексте статьи.

Редколлегия оставляет за собой право литературной редакции содержания статьи без согласования с автором(и)

С условиями публикации материалов можно ознакомиться у ответственного секретаря журнала Коновалова Валерия Владимировича, тел./факс (383)222-49-83, 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, д. 33 (каб. 411). ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» а также на интернет-странице 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

Ответственный за выпуск – Коновалов В.В.

Подписано в печать 24.16.2013 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 44,5; тираж 1050 экз. Заказ №
Цена договорная.

ФБОУ ВПО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
(ФБОУ ВПО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФБОУ ВПО «НГАВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390