

РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕВЕРНЫМ ЗАВОЗОМ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Зачёсов

RIVER TRANSPORT IN MANAGEMENT SYSTEM NORTHERN DELIVERY
Novosibirsk state academy of water transport
V.P. Zachyesov

Set out proposals for the organization and management of northern delivery of goods by river transport in Siberia.

Keywords: transport system, waterways, northern delivery

Изложены предложения по организации и управлению северным завозом грузов речным транспортом Сибири.

В России в настоящее время в соответствие с постановлением Правительства Российской Федерации от 23 мая 2000 г. №402 утвержден перечень районов Крайнего Севера и приравненных к ним местностей с ограниченными сроками завоза продукции. В состав этого перечня вошли 6 республик (Алтай, Бурятия, Карелия, Коми, Тыва и Саха (Якутия), 3 края (Красноярский, Приморский и Хабаровский), 10 областей, 8 автономных округов и одна автономная область. Таким образом, к районам Крайнего Севера и приравненных к ним местностей относятся 27 субъектов Российской Федерации, которые занимают более двух трети территории России, где проживают порядка 23 млн. человек.

На Север страны приходится 80% запасов полезных ископаемых. Здесь сосредоточен основной ресурсный потенциал России: добывается более 90% природного газа, 75% – нефти, почти все алмазы, 90% – меди и никеля, 90% – золота, платиноидов, кобальта, олова, сурьмы, алюминия, находится более половины деловой древесины, гидроресурсов, рыбы, пушнины и т.п.

Для эффективного функционирования и стабильного развития этой территории необходимо надежное материально-техническое обеспечение, которое в современных условиях обеспечить только за счет местных ресурсов, в силу целого ряда объективных причин невозможно.

Основные из этих причин следующие:

– слабое развитие или полное отсутствие производительных сил с северных районах Сибири;

- экстремальные природно-климатические условия для проживания людей;
- удаленность на тысячи километров от экономически развитой центральной европейской части страны, труднодоступность многих северных городов, районов и муниципальных округов;

- отсутствие надежных транспортных связей. Преобладание сезонного характера работ путей сообщения (навигационный период водных путей 3-4 месяца в году, речные пути доступны для работ не более 60-90 суток, морские 30-100 суток, грунтовые дороги 200-250 суток и автозимники могут экспедировать не более 100-200 суток в году);

- разновременность по срокам начала и конца эксплуатации этих путей сообщения, что приводит к необходимости создания избыточных мощностей в складском и транспортном хозяйстве, а также существенно увеличивает сроки доставки грузов. Грузы, поступающие в северные районы востока, находятся в пути до 300 суток, а в отдельных районах до 550 суток.

В научно-производственной литературе можно встретить два понятия: Северный завоз и завоз грузов в районы Крайнего Севера и приравненные к ним местности, пытаясь отдельить эти понятия одно от другого.

Автор настоящей публикации справедливо считает, что в современных условиях можно с высокой степенью достоверности отождествлять эти два понятия под одним наименованием «Северный завоз». Здесь много общего в технологии доставки грузов, а цель одна – обеспечить в кратчайшие сроки завоз всей необходимой номенклатуры грузов в объеме годовой потребности в труднодоступные районы, создавая тем самым нормальные условия жизнедеятельности в этих районах. Это дает возможность в дальнейшем решать в комплексе

двуединую задачу в составе системы управления северным завозом.

В этом случае, комплекс задач по организации северного завоза грузов предлагается рассматривать как локальную транспортную систему, основной целью деятельности которой является удовлетворение потребностей хозяйственного комплекса района и населения в перевозках с наименьшими затратами.

Этой системе присущи все черты сложной управляемой системы. Она подвержена влиянию внешней среды, обладает внутренними взаимосвязями, имеет индивидуальную структуру, включая перечень задач, решение которых позволяет достичнуть поставленной перед системой цели. Оптимизация системы северного завоза является комплексной, многовариантной задачей. Её решение предполагает использование в расчетах современных научно-обоснованных методов и технических средств, в составе информационных технологий.

Северный завоз обусловлен современным причинами – отсутствием собственного промышленного производства необходимых товаров и сельскохозяйственной продукции, а также отсутствием круглогодичных транспортных связей. Товары в северные районы приходится завозить в объеме годовой потребности в ограниченные сроки.

Организация северного завоза, которая раньше осуществлялась через систему мер централизованного управления, с переходом к рыночным отношениям превратилась в одну из острейших экономических и социальных проблем страны, важнейшую составляющую государственной политики России.

В будущем, с развитием российской экономики и внутреннего рынка, роль северных регионов будет еще больше возрастать. Это связано с тем, что на территории располагается практически вся сырьевая база для технического и технологического перевооружения производства.

Организации северного завоза грузов исследователи уделяли и уделяют определенное внимание. На этот счет имеются научные публикации, по некоторым частным вопросам защищены диссертации. Однако следует заметить, что фундаментальных работ по проблемам северного завоза, тем более в рыночной экономике пока еще не выполнено.

Система управления северным завозом на современном этапе предполагает использование принципов транспортной логистики. Положительное влияние этих принципов в настоящее время общеизвестны.

В северном завозе преимущественно приходится использовать различные виды транспорта. В общем виде схему доставки грузов в эти районы можно представить следующим образом: поставщик продукции – железная дорога – внутренний водный транспорт (магистраль) – Северный Морской путь – внутренний водный транспорт (малая река) – автомобильный транспорт – получатель продукции.

Выбор оптимального варианта доставки грузов от поставщика до потребителя рекомендуется осуществлять исходя из общих затрат на доставку от «двери до двери», включая отпускную цену продукции.

Успешно реализованный и качественно выполняемый северный завоз помимо основной цели – обеспечения продукции, производство которой в северных регионах невозможно или же экономически нецелесообразно выполняет целый ряд важнейших функций в экономике России. В частности, основные из них следующие:

- обеспечивает целостность Российской Федерации;
- вовлекает в хозяйственный оборот страны местные ресурсы, способствует их развитию;
- способствует созданию инфраструктуры материально-технического снабжения в районах севера;
- положительно влияет на демографическую обстановку в районах обслуживания.

Специалисты, оценивая северный завоз, делают вывод, что сам по себе он не только сложен в исполнении, но и требует значительных экономических затрат. В периодической печати можно встретить этому подтверждение – цена перевозки топлива по северному завозу в 1,5-2,5 раза превышает его стоимость. Например, завезенный уголь на Камчатке в 2,7 раза дороже добываемого на месте. Бюджеты всех уровней тратят ежегодно огромные средства, но отказаться от него по известным причинам невозможно.

Существующая организация северного завоза считается несовершенной, ориентированной в основном на решение текущих задач, не соответствующих целям долговременной стратегии России.

Переход на системное решение этой проблемы с учетом дальнейшего развития рыночных отношений в экономике страны может нейтрализовать этот недостаток.

Север отличается от других территорий не только экстремальным климатом, но и огромными пространствами при почти полном отсутствии круглогодично действующей транспортной сети. Как правило, основной вид транспорта здесь морской, использовать который возможно только во время короткого северного лета.

Морской транспорт работает в основном в районе Тихоокеанского побережья. Что касается северного завоза в арктические районы, то здесь доминирующее положение принадлежит речному транспорту, который в большинстве районов занимает безальтернативное положение.

Например, только в республику Саха (Якутия) для обеспечения её нормальной жизнедеятельности завозится 4/5 всех необходимых грузов из-за её пределов.

При этом на долю речного транспорта в настоящее время приходится 82% грузов, завозимых в республику через порт Осетрово из других районов России.

По данным навигации 2013 г. в северные районы перевозки речным транспортом в 10,2 раза превышали количество перевозок морским транспортом.

Таким образом, от того, насколько эффективно будет работать этот вид транспорта, во многом зависит решение важнейшей государственной задачи – северного завоза.

В связи с этим очевидно, что для стабилизации северного завоза в системе речного транспорта необходимо устраниить негативные факторы влияния на его функционирование и реализовать ряд технических и организационных мероприятий способствующих дальнейшему его развитию. В том числе:

- обеспечить в достаточном количестве государственную поддержку в части содержания водных путей для осуществления нормального судоходства в течение навигационного периода;

- разработать программу обновления и пополнения флота в судоходных компаниях, в том числе, судами «река-море» плавания, малотоннажного флота, а также нетрадиционными видами транспорта, в частности ноосферными транспортными средствами.

Возрастной состав флота показывает, что большая часть речного флота эксплуатируется 30 лет и более, что составляет 63,2% от его общего количества. При этом доля относительно нового флота со сроком эксплуатации до 10 лет составляет 31,1%;

- совершенствовать систему материально-технического обеспечения путем оптимизации маршрутов грузоперевозок с участием речного транспорта на базе транспортно-логистических технологий доставки грузов;

- сосредоточить руководство северным завозом грузов в аппарате представителя президента по соответствующему региону для решения основных организационных, правовых, экономических, научно-технических и других мероприятий. Которые должны выполняться на всех уровнях власти, управления и хозяйственной деятельности.

Одной из главных причин проблемы северного завоза – у северных территорий нет финансовых возможностей за два-три месяца за сотни и тысячи километров завезти годовой запас топлива, продовольствия и других, необходимых для обеспечения жизнедеятельности северных территорий. Нужна всесторонняя государственная поддержка.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная система, водные пути, северный завоз

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Зачёсов Венедикт Петрович, главный редактор научного журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ

ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.В. Крайнова

BUDGETING INCOME AND EXPENSES OF THE SHIPPING COMPANY

Volga state academy of water transport

V.V. Kraynova

The article highlights the issues of creating a budget of income and expenses in shipping companies. The author has developed a form of income and expenditure budget for the shipping company that will create an enhanced information base for the adoption of various management decisions.

Keywords: budget, income and expenses, shipping company, variable and fixed costs, profit margins

Рассмотрены вопросы формирования бюджета доходов и расходов в судоходных компаниях. Предложена авторская форма бюджета доходов и расходов для судоходной компании, которая позволит создать расширенную информационную базу для принятия различных управленческих решений.

Под бюджетированием в управленческом учете подразумевается процесс планирования деятельности данного предприятия. Бюджетирование – это процесс формирования бюджетов, направленный на приведение в соответствие возможностей организации с условиями рынка. Бюджеты являются ключевым инструментом системы управленческого контроля. При помощи бюджетов предприятие может перейти от этапа единовременного решения финансовых проблем к нормальной, стабильной финансовой деятельности [1].

Основная организационно-правовая форма организаций внутреннего водного транспорта – открытое акционерное общество (ОАО). В состав данного общества входят десятки подразделений как основного, вспомогательного, так и обслуживающего производства. В составе ОАО есть филиалы и представительства (вещевые базы, выплатные пункты, базы технического обслуживания флота и др.). Сезонный характер работы внутреннего водного транспорта – наличие навигационного и межнавигационного периодов – обуславливает неравномерность получения доходов и расходов в течение года. Перечисленные особенности предопределяют широкое использование метода бюджетирования в системе управления организацией внутреннего водного транспорта [2]. Особое место в системе бюджетирования занимает бюджет доходов и расходов, помогающий управлять операционной эффективностью судоходной компании.

В настоящее время в отрасли действует система учета доходов и расходов, утвержденная следующими документами:

- инструкция по учету доходов и расходов по обычным видам деятельности на внутреннем водном транспорте, утвержденной приказом Минтранса РФ от 30.09.2003 г. №194;
- отраслевая инструкция по составу затрат и калькуляции себестоимости работ и услуг предприятий основной деятельности речного транспорта №ВА-6/152, утвержденной Минтрансом 8 марта 1993 г.

Необходимо отметить, что в данных инструкциях вопросы бюджетирования доходов и расходов не рассматриваются. Для разработки отраслевых рекомендаций по бюджетированию доходов и расходов необходимо научное исследование особенностей их формирования в судоходных компаниях.

Исследования, проведенные на ряде крупнейших предприятий отрасли, показывают, что бюджет доходов и расходов, как правило, составляется в двух разрезах: по видам деятельности и по статьям затрат. При этом значительно варьируется детализация статей, особенно расходов.

Основополагающим бюджетом для составления бюджета доходов и расходов является бюджет продаж. Существует несколько методик определения предполагаемых объемов продаж, которые основаны либо на экспертных данных, либо на данных маркетинговых исследований, либо на статистическую информацию прошлых периодов, скорректированную на определенный коэффициент роста продаж. В организациях отрасли чаще используются результаты маркетинговых исследований [2].

Поскольку транспорт не создает готовой продукции, в транспортном процессе отсутствуют остатки готовой продукции и незавершенное производство на начало и конец отчетного периода, бюджет продаж будет являться для судоходной компании так же и бюджетом производства [3]. Доходы от перевозок планируются исходя из принятой корреспонденции перевозок и принятых тарифов по перевозкам грузов и пассажиров.

Далее определяется потребность во флоте на предстоящий год, принимается решение о передаче в аренду неиспользуемых судов или переведению в резерв для замены судов при профилактических ремонтах, либо переводе на консервацию. Для каждой группы грузов производится распределение транспортной работы между видами флота и конкретными судами. Определяется плановая производительность флота и потребность во флоте с дифференциацией по видам флота, группам груза и видом перевозок. Таким образом, по каждому используемому судну на период навигации определяются грузопотоки и период эксплуатации в сутках.

На основе бюджета продаж (производства) и расчета потребности во флоте составляется бюджет доходов и расходов судоходной компании.

В процессе бюджетирования на предприятиях отрасли встает вопрос о том, как и в разрезе чего должен формироваться бюджет доходов и расходов. Считаем, что бюджет доходов и расходов должен формироваться в следующей последовательной цепочке:

- бюджет места возникновения затрат первого уровня – судна;
- бюджет места возникновения затрат второго уровня – вид флота;
- главный бюджет – бюджет по судоходной компании.

Аналитические статьи расходов судоходная компания определяет самостоятельно. В качестве рекомендуемых можно использовать унифицированные статьи калькуляции по форме Б-3 «Отчет о доходах и себестоимости работ в основной деятельности речного транспорта». Однако, это достаточно укрупненные статьи, которые, на наш взгляд необходимо детализировать.

Важными факторами при подготовке бюджета являются точность, детальность и методичность. Необходимо определить оптимальную степень детальности. Она должна быть достаточной и максимально полезной как для того, кто заполняет бюджет, так и для того, кто его получает [4].

При этом форма должна содержать только самую значимую детальную информацию, так как избыток информации может привести к ненужной работе и ввести в заблуждение. При составлении бюджета следует по возможности избегать статьи «Прочие расходы», поскольку за каждый элемент затрат нужно отчитываться.

Хотя бюджет составляется на один год, в форме целесообразно учитывать затраты за каждый квартал, а так же помесячно. Это облегчает обнаружение и анализ отклонений [5]. С этой целью в форме содержатся колонки для фиксирования затрат за каждый квартал с разбивкой по месяцам и общая колонка для фиксирования затрат за год (таблица 1).

Таблица 1 – Бюджет доходов и расходов судна (вида флота, судоходной компании), тыс. руб.

№ п/п	Наименование показателя	План 2015 г.
1	Доходы от работы флота	4694138
1.1	– от перевозок	4486525
1.2	– от аренды флота	186226
1.3	– прочие услуги	21387
2.	Расходы, всего	4054450
2.1	Переменные (полупеременные) расходы	1992817
2.1.1	Топливо	1373224
2.1.2	Дисбурсменты	133711
2.1.3	Навигационные сборы	77162
2.1.4	Итого рейсовые расходы (2.1.1+2.1.2+2.1.3)	1584097
2.1.5	Рейсовый результат (1-2.1.4)	2153561
2.1.6	Заработка плата плавсостава (переменная часть)	87438
2.1.7	Страховые взносы	26231
2.1.8	Рацион бесплатного питания	109171
2.1.9	Масло	50653
2.1.10	Материалы навигационные	63772
2.1.11	Услуги судовой связи	4010

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Наименование показателя	План 2015 г.
2.1.12	Комплексное обслуживание флота	50730
2.1.13	Прочие прямые переменные (полупеременные) расходы	16715
3.1	Маржинальный доход 1 (1-2.1)	2701321
2.2	Постоянные прямые расходы судна	1402716
2.2.1	Зарплата плавсостава (постоянная часть)	689845
2.2.2	Страховые взносы	206954
2.2.3	Услуги государственных контролирующих органов	18792
2.2.4	Амортизация судна и судового инвентаря	120864
2.2.5	Страхование судна	52954
2.2.6	Аренда судов	91222
2.2.7	Ремонт судов	121355
2.2.8	Прочие постоянные расходы судна	100730
3.2	Маржинальный доход 2 (Валовая прибыль) (3.1-2.2)	1298605
2.3*	Постоянные косвенные расходы на вид флота	71362
2.3.1	Вспомогательный флот (дежурные суда, дебаркадеры)	16167
2.3.2	Общефлотские расходы	55195
3.3*	Маржинальный доход 3 (3.2-2.3)	1227243
2.4**	Постоянные косвенные расходы судоходной компании	508383
2.4.1	Расходы по управлению и обслуживанию производства	508383
3.4**	Прибыль (убыток) от продаж (3.3-2.4)	718860
2.5**	Сальдо прочих доходов и расходов	-79172
2.5.1	Доходы/расходы по процентам	-32131
2.5.2	Прочие доходы/расходы	-47041
3.5**	Прибыль (убыток) до налогообложения (3.4-2.5)	639688
2.6**	Налог на прибыль	76043
2.7**	Отложенные налоговые обязательства	12415
2.8**	Отложенные налоговые активы	33438
3.6**	Чистая прибыль (3.5-2.6-2.7+2.8)	584668

*-отражается в бюджете по видам флота; **-отражается в бюджете по судоходной компании

Как видно, в разработанной автором форме бюджета расходы подразделяются на:

- прямые и косвенные;
- переменные (полупеременные) и постоянные в разрезе уровней управления;
- прямые затраты по содержанию судна, в свою очередь делятся на рейсовые и другие эксплуатационные расходы.

Рейсовые расходы – основная переменная составляющая расходов по содержанию судна. К ним относятся топливо, дисбурсменты, навигационные сборы. Доходы за минусом рейсовых расходов составляют рейсовый результат. В статьях 2.1.1-2.1.13 с достаточной степенью детализации представлены переменные (полупеременные) расходы по содержанию судна. Постоянные расходы представлены отдельным блоком (ст. 2.2-2.4) и в соответствии с концепцией развитого директ-костинга распределены по уровням управления (судно, вид флота, судоходная компания).

Данная форма бюджета предполагает формирование нескольких видов результатов:

- маржинальный доход 1 – разница между доходами от работы флота и прямыми переменными расходами по судам;
- маржинальный доход 2 (валовая прибыль) – разница между доходами от работы флота и прямыми постоянными и переменными расходами по судам;
- маржинальный доход 3 – разница между доходами и всеми прямыми расходами судов и косвенными расходами, приходящимися на вид флота (вспомогательный флот, общефлотские расходы);
- прибыль (убыток от продаж) – разница между доходами и расходами от работы флота;
- прибыль (убыток) до налогообложения – разница между доходами и расходами от работы флота и от прочих операций.
- чистая прибыль – прибыль, полученная от работы флота и от прочих операций за минусом налога на прибыль.

Предложенная детализация доходов, расходов и финансовых результатов делает фор-

му бюджета более информативной и значительно расширяет ее возможности как учетно-аналитического обеспечения принятия управлеченческих решений.

Так, например, данную форму бюджета расходов по содержанию судна с предложенной классификацией затрат на рейсовые расходы и другие расходы по содержанию судна удобно использовать для проектных методов расчета себестоимости перевозок.

В предложенной форме бюджета формируется показатель маржинального дохода, что является предпосылкой проведения маржинального анализа, а использованная в бюджете классификация эксплуатационных расходов на постоянные и переменные представляет широкие возможности для разработки гибких бюджетов.

Автор полагает, что использование формы бюджета доходов и расходов, разработанной на основе изучения опыта работы организаций отрасли и специальной литературы по бюджетированию, будет способствовать эффективному функционированию системы управления в судоходных компаниях. Рекомендации, содержащиеся в исследовании, могут послужить основой стандартизации процесса бюджетирования доходов и расходов в отрасли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ивашкевич, В.Б. Бухгалтерский управленческий учет: учеб. для вузов / В.Б. Ивашкевич. -М.: Юристъ, 2003. -618 с.
- 2 Крайнова, В.В. Управленческий учет затрат в организациях внутреннего водного транспорта: монография / В.В. Крайнова. -Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. -203 с.
- 3 Крайнова, В.В. Совершенствование управленческого учета косвенных затрат в судоходных компаниях / В.В. Крайнова // Реч. трансп. (XXI век). -2014. -№3(68). -С. 76-80.
- 4 Управленческий учет: учебник / А.Д. Шеремет [и др.]; под ред. А.Д. Шеремета. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: ИНФРА-М, 2009. -429 с.
- 5 Вахрушина, М.А. Бухгалтерский управленческий учет: учеб. для студентов вузов, обучающихся по экон. спец. / М.А. Вахрушина. -7 изд., стер. -М.: Омега-Л, 2010. -570 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: бюджет, доходы и расходы, судоходная компания, переменные и постоянные расходы, маржинальный доход

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Крайнова Вера Владимировна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5а, ФГБОУ ВО «ВГАВТ»

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА В ОРГАНИЗАЦИЯХ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

ФГБОУ ВО «Волжская государственная академия водного транспорта»

В.В. Крайнова

RATIONALE DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF MANAGEMENT ACCOUNTING IN ORGANIZATIONS OF WATERWAY TRANSPORT AT PRESENT STAGE
Volga state academy of water transport
V.V. Kraynova

Analyzes the current financial condition of the industry and the external environment in which the activities of shipping companies. Given the complexity of doing shipping business author defines the main directions of development of management accounting in organizations of water transport based on industry characteristics.

Keywords: management accounting, industry characteristics, costs, water transport

Проанализировано современное финансовое состояние предприятий отрасли и внешняя среда, в которой осуществляют деятельность судоходные компании. С учетом усложнения условий ведения судоходного бизнеса автором определены основные направления развития управленческого учета в организациях водного транспорта на основе отраслевых особенностей.

В последние два десятилетия издано немало специальной литературы по управленческому учету [1-3]. В целом определены его предмет, метод, принципы, однако публикации касаются, в основном, общих характеристик управленческого учета, без учета специфики отрасли. Между тем, управленческий учет создается, главным образом, для оперативного управления экономикой конкретного хозяйствующего субъекта. Поэтому важной предпосылкой обоснования направлений развития управленческого учета является изучение особенности функционирования организаций внутреннего водного транспорта (ОВВТ) на современном этапе.

Направления развития системы управленческого учета в организациях отрасли, в основном, зависят от следующих факторов: специфики технологического процесса перевозок,

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

организационной структуры предприятия, налаженной системы бухгалтерского учета, системы автоматизации обработки экономической информации в организации, состояния внешней среды. Данные особенности оказывают влияние на способы калькулирования себестоимости, классификацию затрат, построение системы центров затрат, доходов, прибылей, инвестиций, использование методов директ-костинг, стандарт-кост, способов сбора, обобщения и анализа информации и другие элементы системы управленческого учета в организации [4].

Показатели эффективности основной деятельности предприятий отрасли свидетельствуют о негативных тенденциях. Так, рентабельность перевозок в ОВВТ продолжает оставаться значительно ниже действующей процентной ставки Центрального банка (таблица 1), что делает отрасль непривлекательной для инвесторов. В среднем рентабельность составляет около 5%, чуть выше – по грузовым перевозкам (7,4%), пассажирские перевозки являютсянерентабельными, то есть убыточными (-2,4%).

Таблица 1 – Рентабельность перевозок в ОВВТ, % [5]

Показатели	Годы											Средний уровень ряда
	2000	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013		
Рентабельность перевозок, в том числе:	7,1	0,4	-1,5	6,7	1,9	9,2	5,2	6,6	9,1	4,6		4,9
– грузов	8,6	2,5	0	8,2	4,2	12,9	8,9	10,8	11,8	6,4		7,4
– пассажиров	-9,1	-14,8	-12,0	-4,5	-16,7	-11,1	-14,8	-19,4	-12,5	-9,0		-12,4

Удельный вес убыточных предприятий в целом по отрасли за последние пять лет составил около 30%, в ОВВТ, занятых перевозкой грузов – около 29%, пассажиров – 40% (таблица 2)

Таблица 2 – Удельный вес убыточных ОВВТ в общем числе организаций в 2008-2012 гг. [5], %

Вид деятельности	Годы					Средний уровень ряда
	2008	2009	2010	2011	2012	
Деятельность внутреннего водного транспорта в том числе:	27,5	34,9	32,8	24,8	29,8	29,9
– грузового транспорта	22,9	37,9	32,1	24,7	26,1	28,7
– пассажирского транспорта	38,3	29,6	38,3	37,8	56,2	40,0

Судоходные компании работают в условиях конкуренции с другими отечественными и зарубежными судоходными компаниями, а так же с другими видами транспорта. Состав хозяйствующих субъектов, оказывающих транспортные услуги на водном транспорте, представлен в таблице 3.

Таблица 3 – Состав ОВВТ, оказывающих транспортные услуги, по состоянию на 01.01.2012 г. [5]

Вид предприятия	Количество, ед.	Удельный вес, %
Коммерческие предприятия, не относящиеся к субъектам среднего предпринимательства малого предпринимательства	295	12,5
Средние предприятия	45	1,9
Малые предприятия	369	15,7
Микропредприятия	1236	52,5
Некоммерческие организации	30	1,3
Коммерческие предприятия, тип которых не определен	378	16,1
Всего предприятий	2353	100

Наибольший удельный вес в структуре ОВВТ занимают микропредприятия (52,5%), наименьший – некоммерческие организации (1,3%). Крупные судоходные компании составляют 12,5% от общего числа перевозчиков, однако именно на их долю приходится более 80% грузооборота и более 50% общего объема перевозок. Эти компании созданы на базе бывших крупных пароходств и организованы в форме ОАО. Средние и малые судоходные компании являются более гибкими, могут лучше подстраиваться под потребности клиента, поэтому часто эффективность их работы выше, и крупным компаниям необходимо принимать специальные меры, чтобы оставаться конкурентоспособными. Кроме того, конкуренцию обостряет

более динамичное развитие наземных видов транспорта, а так же ввод трубопроводов и «выпадение» речных маршрутов из логистических цепей доставки грузов [4].

В настоящее время в крупных судоходных компаниях применяются отдельные элементы управленческого учета, которые реализуются в основном посредством годового бюджетирования, однако, комплексная система управленческого учета, ориентированная на специфику водного транспорта, отсутствует. Игнорируется и стратегический аспект управленческого учета.

Усложнение условий ведения бизнеса судоходных компаний предполагает необходимость постоянного совершенствования процессов корпоративного управления. Методологические инновации являются безусловной прерогативой лиц, ответственных за подготовку и принятие управленческих решений.

Снижение себестоимости традиционно считалось основным направлением обеспечения рентабельной работы организации в любой отрасли хозяйства. Однако применительно к речному транспорту, этот подход нуждается в уточнении. Изучение данных о себестоимости за последние годы показывает устойчивую тенденцию к ее росту. Основная причина: пре-вышение темпа роста расходов над темпами роста доходов. На себестоимость перевозок на речном транспорте оказывает влияние большое количество внутренних и внешних факторов. Вопросы организации управленческого учета в организациях внутреннего водного транспорта тесно связаны с вопросами управления затратами на всех уровнях его производственно-коммерческой деятельности [6, 7].

Исследования, проведенные на ряде крупнейших предприятий отрасли, позволили выявить отраслевые особенности, которые предопределяют направления развития управленческого учета на водном транспорте (таблица 4).

Комплексная реализация обоснованных направлений развития управленческого учета в ОВВТ с учетом их отраслевой специфики будет способствовать эффективному функционированию системы управления на современном этапе.

Таблица 4 – Направления развития управленческого учета в ОВВТ с учетом отраслевых особенностей [5]

Отраслевая особенность	Направления развития управленческого учета
Территориальная рассосредоточенность и удаленность производственных объектов - транспортных единиц от органов управления	Учет затрат, а по возможности и результатов деятельности в разрезе мест возникновения затрат и центров ответственности
Наличие разнообразных вспомогательных производств (ремонтные цеха, вспомогательный флот, транспортный цех и т.д.)	Широкое использование в отрасли элементов методики «купить или производить», калькулирования и планирования затрат, использования метода стандарт-кост, использование методов трансфертного ценообразования, а также возможность выделения на базе подразделений вспомогательных производств центров прибыли
Внутренний водный транспорт характеризуется многообразием транспортных работ: грузовые и пассажирские перевозки классифицируются по видам отправок, по родам грузов, по цели поездки, по типу подвижного состава, по скорости, по расстоянию и т.д.	Использование системы учета директ-костинг для формирования усеченной себестоимости для выявления маржинального дохода по каждой виду перевозки при выборе альтернативных вариантов и управления прибылью
Производственный процесс в ОВВТ совершается одновременно с потреблением продукции: как следствие, отсутствует незавершенное производство. При выполнении грузовых перевозок данной реализации признается дата отправления груза, при выполнении пассажирских перевозок - дата начала рейса	Использование при калькулировании себестоимости метода «дирек-костинг»
Наличие у крупной судоходной компании филиалов и представительств (базы технического обслуживания флота, вещевые базы, выплатные пункты и др.)	Обязательный учет затрат в разрезе мест возникновения затрат и центров ответственности, а так же широкое использование метода бюджетирования
В эксплуатационных расходах расходы по содержанию флота занимают более 90%	Детальное изучение данных затрат, их поведения, классификации для определения себестоимости, для принятия решений и планирования,

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

для контроля и регулирования

Продолжение таблицы 1

Зависимость объема перевозок от природно-географических факторов, состояния внутренних водных путей, состояния гидротехнических сооружений и как результат убытки от недогруза и простоев в ожидании воды и шлюзования	В связи со снижением объема перевозок предопределяет использование анализа безубыточности
Сезонный характер работы речного транспорта – наличие навигационного и межнавигационного периодов	Ввиду неравномерности поступления доходов в течение года с сохранением постоянной составляющей расходов, предопределяется необходимость бюджетирования: составление операционного, а так же финансового бюджета
При свободном выборе партнеров по сделке на рынке транспортных услуг фактические объемы перевозок часто не совпадают с плановыми, что приводит к несопоставимости плановых и отчетных данных	Использование в отрасли гибких бюджетов, которые составляются для определенного диапазона деловой активности
Низкая рентабельность и высокая конкуренция в судоходном бизнесе	Ориентация управленческого учета на реализацию стратегических целей организации, достижение эффективности операций и результативности бизнес-процессов на основе сбалансированной системы показателей

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Управленческий учет: учебник / А.Д. Шеремет [и др.]; под ред. А.Д. Шеремета. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: ИНФРА-М, 2009. -429 с.
- 2 Ивашкевич, В.Б. Бухгалтерский управленческий учет: учеб. для вузов / В.Б. Ивашкевич. -М.: Юристъ, 2003. -618 с.
- 3 Вахрушина, М.А. Бухгалтерский управленческий учет: учеб. для студентов вузов, обучающихся по экон. спец. / М.А. Вахрушина. -7 изд., стер. -М.: Омега-Л, 2010. -570 с.
- 4 Крайнова, В.В. Управленческий учет затрат в организациях внутреннего водного транспорта: монография / В.В. Крайнова. -Н.Новгород: Изд-во ФБОУ ВПО «ВГАВТ», 2012. -203 с.
- 5 Центральная база статистических данных [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.gks.ru/dbscripts/cbsd/DBInet.cgi#1>.
- 6 Крайнова, В.В. Совершенствование управленческого учета косвенных затрат в судоходных компаниях / В.В. Крайнова // Реч. трансп. (XXI век). -2014. -№3(68). -С. 76-80.
- 7 Крайнова, В.В. Управление бухгалтерскими и налоговыми затратами по содержанию флота в организациях внутреннего водного транспорта / В.В. Крайнова // Реч. трансп. (XXI век). -2014. -№1(66). -С. 60-65.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: управленческий учет, отраслевые особенности, затраты, водный транспорт

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Крайнова Вера Владимировна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВО «ВГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 603950, г.Нижний Новгород, ул.Нестерова, 5а, ФГБОУ ВО «ВГАВТ»

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО ПАРОХОДСТВА: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ

ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство»

Н.В. Громова

INDUSTRIAL AND ECONOMIC ACTIVITY OF THE WEST SIBERIAN SHIPPING COMPANY: RESULTS AND PROSPECTS
West-Siberian river shipping
N.V. Gromova

Characteristic of industrial and economic activities, the largest transport company in Siberia and the prospects for its development.

Keywords: freight transport, transport fleet, industrial and economic activity, development prospects

Характеристика производственно-хозяйственной деятельности крупнейшего транспортного предприятия Сибири и перспектив его развития.

Западно-Сибирское речное пароходство основано в 1897 г. как частное товарищество. В 1918 г. весь флот страны был национализирован, в Обь-Иртышском бассейне создано Западно-Сибирское областное управление водного транспорта в центром в г. Омске. В 1923 г. были образованы 9 правлений государственных речных пароходств, в том числе Западно-Сибирское, район деятельности которого включал, кроме Обь-Иртышского, еще и Ангаро-Енисейский бассейн. В 1924 г. его управление переведено из Омска в Новониколаевск (Ново-

сибирск). В 1931 г. образовано Западно-Сибирское речное пароходство в его нынешних границах [1].

В течение последующих шести десятилетий пароходство являлось крупнейшим на востоке производственно-транспортным объединением, включающим в свой состав транспортный и вспомогательный флот, порты, пристани, судоремонтные предприятия. Пароходство осуществляло перевозки грузов и пассажиров по рекам Обь, Иртыш, Васюган, Чулым, Кеть в границах Алтайского края, Новосибирской, Томской, Кемеровской и Тюменской областей. В 1990 г. был достигнут пик грузовых перевозок: около 32 млн. т. Основную долю составляли сухогрузы (94%), в которых превалировали НСМ (87% перевозок сухогрузов) и лесные (7%) [2].

При этом пароходство отличалось не только высокими производственными показателями, здесь получили развитие такие прогрессивные начинания, как комплексно-механизированные линии, совмещение профессий, комплексное соревнование смежников, единый технологический процесс работы порта и станции, судовой хозрасчет, бригадный подряд, эксплуатация большегрузных составов. В пароходстве выросли руководители, известные всей отрасли: Гашков В.В., Масленников Н.П., Минеев В.А., Рыжков А.П., Рагулин И.А., Драчев П.Т., Никоненко Ю.М., Макаров В.И., Епимахов В.В., Крук А.А., Кноль В.А., новаторы производства Герой Социалистического труда Манаков В.С., лауреат Государственной премии Кладов И.Е. Практически все инженерные должности были укомплектованы выпускниками Новосибирского института инженеров водного транспорта (ныне Академия водного транспорта), между пароходством и вузом сложились тесные творческие связи, и не случайно бывшие работники пароходства (Рагулин И.А., Лоскутов Е.Н., Рыжков А.П., Субботин Ю.А., Шестаков Ю.И.) являются ведущими преподавателями академии.

Вместе с тем, как отмечается в ряде научных работ [3, 4], в течение полувека, начиная с создания в 1939 г. Народного комисариата речного флота СССР, система управления и хозяйствования в стране в целом и в бассейнах оставалась неизменной, несмотря на преобразования 1946 г. (создание Минречфлота СССР), 1953-1954 гг. (существование объединенного министерства морского и речного флота СССР), 1956 г. (образование на базе союзного министерства республиканских органов управления): полная централизация и строгая иерархия, опора на валовые показатели и административные методы.

Необходимость преобразований сложившейся в 1930-х гг. системы управления и хозяйствования стала наиболее остро ощущаться в 1980-х гг. В 1990 г. на базе предприятий и организаций Минречфлота РСФСР был образован Российский государственный концерн речного флота (Росречфлот). Орган управления отраслью освобождался от функций текущего планирования и оперативного контроля, пароходства получили полную хозяйственную самостоятельность. Как отмечают аналитики [3, 4], создание Росречфлота было верным, но запоздалым решением. В 1992 г. была утверждена Государственная программа приватизации государственных и муниципальных предприятий. Целью приватизации было наделить правом собственника работников предприятий, повысить их экономическую заинтересованность в результатах хозяйственной деятельности, создать условиях для организации специализированных транспортных предприятий, как это принято в мировой практике.

К этому периоду пароходство включало в свой состав 14 крупных производственных подразделений, в том числе Новосибирский, Томский, Барнаульский, Колпашевский, Бийский, Каргасокский, Александровский, Кемеровский, Беляйский порты, ремонтно-эксплуатационные базы (Барнаульская, Новосибирская, Моряковская, Ново-Ильинская), а также Самусьский судоремонтно-судостроительный завод. В результате приватизации на базе Западно-Сибирского речного пароходства образовалось 4 акционерных общества: «Новосибирский речной порт», «Томский речной порт», «Самусьский судоремонтно-судостроительный завод» и собственно АООТ (с 1998 г. ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство») в составе всего транспортного флота, 9 эксплуатационных и 4 промышленных предприятий.

Коллектив пароходства принял экономическую модель, при которой он владеет более чем половиной общего числа акций. Владельцем 25,5% акций стало государство в лице Роскомимущества. В начале 2000-х гг. крупнейшими акционерами стали также ОАО «Востокгазпром» (г. Томск) – 28,8% и Ассоциация «КСК» (г. Новосибирск) – 20%, доля акционеров-физических лиц существенно уменьшилась. В дальнейшем состав акционеров-юридических лиц менялся практически ежегодно.

Переход к новым формам хозяйственной и экономической деятельности происходил в

условиях быстрого и существенного ухудшения конъюнктуры транспортных услуг, объем перевозок снизился более чем в десять раз – с 32 млн. т до 2,5 млн. т в 2000 г. В следующем десятилетии средний объем грузовых перевозок составил около 2 млн. т, в основном строительных грузов (рисунок).

Очевидно, что резкое падение спроса на перевозки и ухудшение их структуры не могло не сказаться на их эффективности. В 2004 г. ОАО оказалось на грани банкротства. Акционерами и советом директоров предпринимались меры по стабилизации экономической обстановки, как положительный факт следует оценить то, что пароходству удалось сохранить инфраструктуру и транспортный флот, хотя и предельно изношенные (таблица 1).

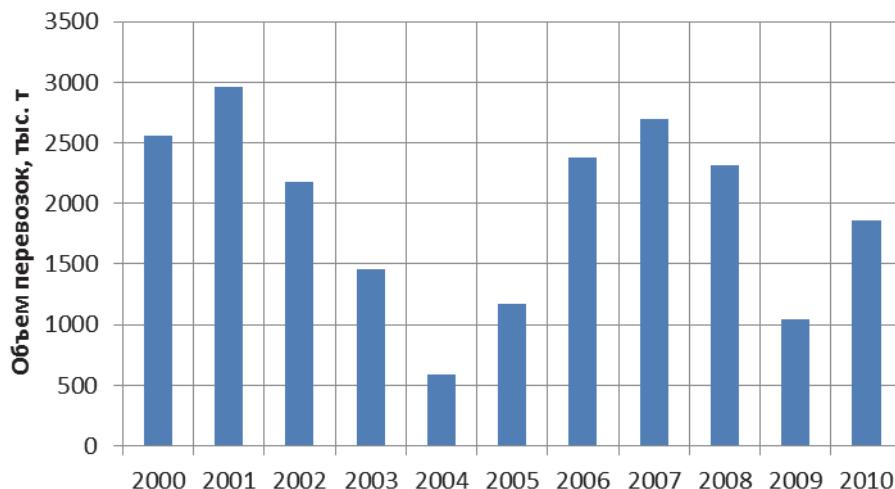


Рисунок – Динамика грузовых перевозок флотом ОАО «ЗСРП»

Средняя грузоподъемность несамоходного сухогрузного тоннажа превышает 1800 т и с 1990 г. увеличилась на 12%. Несамоходный наливной тоннаж пароходства представлен баржами грузоподъемностью 100-1850 т, средняя грузоподъемность снизилась в полтора раза, с 680 до 450 т. В группу буксирных судов входят в основном теплоходы пр. 428 мощностью 2000 л.с. и пр. 1741 мощностью 600 л. с. Средняя мощность снизилась с 528 до 441 л. с. (на 20%).

Таблица 1 – Наличие флота на балансе ОАО «ЗСРП»

Тип флота	Единицы измерения	1990 г.	2000 г.	2010 г.
Буксирный	единиц	342	178	108
	тыс. л.с.	180,5	114,3	60,3
Самоходный сухогрузный	единиц	81	37	9
	тыс. т	38,5	19,1	8,0
Самоходный наливной	единиц	14	14	8
	тыс. т	8,4	8,3	4,8
Несамоходный сухогрузный	единиц	696	471	347
	тыс. т	1130,2	816,6	611,1
Несамоходный наливной	единиц	51	43	50
	тыс. т	35,4	36,0	30,1

Флот пароходства расширил сферу своей деятельности, выполняя перевозки грузов в границах всего Западно-Сибирского бассейна [5, 6] – таблица 2.

Таблица 2 – Укрупненная корреспонденция грузопотоков сухогрузов, осваиваемых флотом ОАО «ЗСРП» (2007 г.)

Пункты		Род груза	Объем перевозок, тыс. т	Расстояние, км	Грузооборот, тыс. т·км
отправления	назначения				
НСО, Томская и Кемеровская области	НСО, Томская область, ХМАО, ЯНАО	песок, ПГС	1202	569	672452
Томск, Тобольск, Лабытнанги	ХМАО, ЯНАО	щебень	577	627	362020
Томск, Новосибирск Тобольск	Кедровый, Александровское, Катыльга, Сибирское	ЖБИ, трубы	13	1021	13277
Итого сухогрузов			1792	585	1047749

2010-2011 гг. стали для предприятия новым важным этапом реформирования. В 2010 г. государственный пакет акций был выставлен на продажу и выкуплен ООО «Буровая сервис-

ная компания Гранд». Доля акций среди юридических лиц распределилась следующим образом: ООО «Газтранссервис» (дочернее предприятие ОАО «Востокгазпром») – 28,8%, ООО «Реки и мосты» (г. Москва) – 25,5%, ООО «Международный центр технологии и торговли» (г. Томск) – 20%, ООО «Гранд» – 7%.

На основе анализа положения открытого акционерного общества в отрасли и в регионе в конце 2011 г. акционерами было принято решение о смене основного вида деятельности и о передаче значительной части флота в аренду ООО «Сибирская Судоходная компания» (генеральный директор В.А. Кноль).

Вместо традиционных для речного транспортного предприятия видов деятельности (перевозка грузов и пассажиров, перегрузочные работы, добыча НСМ) основными видами стали реализация и сдача имущества в аренду, а также осуществление зимнего отстоя флота. В течение двух лет «Сибирской Судоходной компании» были сданы в аренду 270 ед. флота (более половины всего наличия), в том числе около 200 несамоходных и 30 буксирных судов.

На решение акционеров во многом повлияла успешная работа ОАО «Томская судоходная компания» (ТСК) по созданию бассейновой логистической системы доставки строительных грузов, в первую очередь, щебня. На базе Томского речного порта было образовано производство по изготовлению щебня из добываемого портом гравия. ТСК также плодотворно взаимодействует с предприятиями строительной отрасли Томской области. В результате общий объем отправления грузов ежегодно составлял от 3,5 до 5 млн. т [6].

Для ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» открывалась возможность резко нарастить объемы перевозок щебня с карьера «Борок», расположенного в границах г. Новосибирска – до 1 млн. т в навигацию, однако этому препятствует нерешенные вопросы экологической безопасности, неразвитость портовой инфраструктуры, недостаточные глубины.

Ухудшение путевых условий на участке Новосибирск-устье р. Томи также явилось одним из факторов, повлиявших на решение акционеров. Кроме того, в последние годы Новосибирский речной порт практически потерял свое значение крупного транспортного узла: объем перевалки перевалочного за два десятилетия снизился до 50-60 тыс. т.

В августе 2013 г. на внеочередном собрании акционеров были избраны новый состав совета директоров во главе с генеральным директором ОАО «Сибирская судоходная компания» и генеральный директор ОАО «ЗСРП».

В связи с новыми задачами Общества часть лицензий, принадлежащих ОАО «ЗСРП», аннулирована, лицензии на добычу и реализацию нерудных строительных материалов переданы в дочернее предприятие ООО «Сибирские строительные материалы». У Общества остались лицензии на водопользование участком реки Чулым с целью добычи песка и ПГС на Сергеевском месторождении, проведение погрузочно-разгрузочных работ (срок действия лицензии с 23.05.2006 г. по 14.03.2020 г.) и на добычу песчано-гравийного материала на Сергеевском месторождении, р. Чулым (срок действия лицензии с 12.04.2006 г. по 15.03.2020 г.).

В связи со сменой видов деятельности изменились финансовые показатели Общества. За два года доходы от обычных видов деятельности снизились в 23 раза – с 683 до 29 млн. руб. В то же время прочие доходы (от выбытия основных средств и земельных участков, от реализации ценных бумаг и имущественных прав ОАО «ЗСРП») выросли до 789 млн. руб.

В 2014 г. основными акционерами Общества стали учрежденное им ОАО «ЗСРП-ИНВЕСТ» (28,06%), ООО «Моряковский речной затон» (40%), ООО «Международный центр технологии и торговли» (г. Томск) – 19,23%.

Для проработки вопроса о перспективах ОАО «ЗСРП» как транспортного предприятия следует учесть целый ряд факторов: состояние рынка транспортных услуг в бассейне; государственная и региональная транспортная политика; финансово-экономическая и кадровая ситуация.

Несмотря на неблагоприятную для развития речных перевозок ситуацию, ОАО «ЗСРП» имеет четкую перспективу сохранения своих позиций в регионе во взаимодействии со всеми речными транспортными предприятиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Земляновский, Д.К. Развитие судоходства в Сибири / Д.К. Земляновский. -Новосибирск: Зап-Сиб. кн. изд-во, 1969. -62 с.

2 Субботин, Ю.А. ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» – вчера, сегодня, завтра / Ю.А. Субботин // Проблемы функционирования и развития транспортного комплекса Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2011. -С. 25-41.

3 Булава, И.А. Теория и практика управления предприятиями внутреннего водного транспорта / И.А. Булава, В.С. Никифоров, А.Ф. Шишкян. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2001. -189 с.

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

5 Попенко, А.С. Сравнительный анализ эксплуатационной работы ОАО «Западно-Сибирское речное пароходство» за 2008-2009 гг. / А.С. Попенко // Транспортный комплекс Сибири: сб. науч. тр. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2010. -С. 88-96.

6 Судоходство и водные пути Обь-Иртышского бассейна: монография / под ред. В.С. Никифорова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2012. -247 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грузовые перевозки, транспортный флот, производственно-хозяйственная деятельность, перспективы развития

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Громова Наталья Валентиновна, генеральный директор ОАО «ЗСРП»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630007, г.Новосибирск, ул.Красный проспект, 14, ОАО «ЗСРП»

РОЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ В УПРАВЛЕНИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ КАПИТАЛОМ КОМПАНИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Мукасеев

ROLE OF ORGANIZATIONAL CULTURE IN MANAGEMENT BY HUMAN CAPITAL OF COMPANY

Novosibirsk state academy of water transport

A.V. Mukaseev

In this article talked about importance of human capital (as compared to material resources) in the conditions of modern economy.

Keywords: man, capital, management, culture, organization, level

Важность человеческого капитала (по сравнению с материальными ресурсами) в условиях современной экономики.

Широко используемые в последние годы понятия постиндустриальной экономики, инновационной экономики, экономики знаний означают, что в этом типе экономик ключевым фактором роста являются не материальные ресурсы, а человеческий капитал.

Первоначально под человеческим капиталом понималась лишь совокупность инвестиций в человека, повышающая его способность к труду. Так Г. Беккер определил человеческий капитал как совокупность навыков, знаний и умений человека, подразумевая образование и профессиональные навыки [7].

Современные определения человеческого капитала содержательно шире. Согласно, определению А.В. Шабуровой, человеческий капитал организации включает в себя профессиональные, интеллектуальные, духовные характеристики работника и функциональное качество его труда [5].

В соответствии с классификацией Е.В. Шульгиной человеческий капитал подразделяется на национальный человеческий капитал, человеческий капитал компании и индивидуальный человеческий капитал [6].

Для управления человеческим капиталом компании используют такой управленческий инструмент как организационная культура. Для того чтобы определить роль организационной культуры в управлении человеческим капиталом обратимся к теоретическим основам данного феномена.

В работах Х. Шварца и С. Дэвиса организационная культура представлена как комплекс убеждений и ожиданий, разделяемых членами организации и формирующих нормы поведения [1].

Д. Элдридж и А. Кромби отмечают, что организационная культура представляет собой уникальную совокупность норм, ценностей, убеждений, образцов поведения, которые определяют способ объединения групп и отдельных личностей в организацию для достижения поставленных перед ней целей [1].

В.А. Спивак определяет культуру организации как очень сложное, многослойное, динамичное явление, включающее и материальное, и духовное в поведении организации по отношению к субъектам внешней среды и к собственным сотрудникам [2].

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Несмотря на отсутствие универсального определения, большинство авторов отмечают общие аспекты: ценности, атрибуты поведения и символику (документы, легенды, фирменный стиль), которая позволяет распространить определенную организационную культуру.

При этом при формировании каждой отдельной организационной культуры используется набор специфичных элементов, определяющих её уникальность: коммуникационная система, внешний вид сотрудников, привычки и традиции, трудовая этика и мотивирование, процесс развития работника и обучение, взаимоотношения между людьми, вера и расположность к чему-либо.

Формирование организационной культуры по О.Е. Стекловой предполагает выбор миссии, определение стратегии, основных целей и ценностей организации, оценку существующей организационной культуры и целенаправленные воздействия на организационную культуру с целью формирования или закрепления предпочтительных ценностей и образцов поведения посредством специально разработанных организационных мероприятий [3].

О.Г. Тихомирова предлагает использовать метод моделирования организационной культуры на функциональном, элементном и организационном уровнях [4].

Функциональный уровень – это формирование ценностей, системы знаний, внутренних и внешних коммуникаций, постановка целей и формирование культуры трудового, производственного и иных процессов. Элементный уровень предусматривает выделение в системе необходимых для реализации функций задач элементов, а также соответствующего элементного (ресурсного) обеспечения.

Организационный уровень направлен на создание структуры системы управления формированием и развитием организационной культуры.

Для управления организационной культурой используется ряд способов (таблица). Данные способы позволяют сформировать или закрепить желательные ценности и образцы поведения, определяющие качество человеческого капитала компании.

Таблица – Способы управления организационной культурой

Способы	Характеристика
Экономические	методы, связанные со свободно-договорными товарно-денежными отношениями на взаимовыгодной основе
Административные	методы прямого, официального указания принципов, стандартов, норм и правил поведения в сочетании с административными санкциями со стороны руководства организации
Психологические	методы, связанные с использованием групповых процессов для воздействия на личность, входящую в трудовой коллектив
Символические	методы, связанные с материальным воплощением основных идей и ценностей организационной культуры (в виде символов, слоганов, пространственного расположения и т.п.)

Таким образом, роль организационной культуры в управлении человеческим капиталом заключается в повышении качества человеческого капитала: уровня трудового потенциала, компетентности и производительности сотрудников посредством внедрения предпочтительных ценностей и образцов поведения в рамках уникальной организационной культуры, которые обеспечиваются экономическими, административными, психологическими и символическими мерами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Грошев, И.В. Организационная культура: учеб. пособие / И.В. Грошев, П.В. Емельянов, В.М. Юрьев. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2004. -288 с.
- 2 Спивак, В.А. Организационная культура / В.А. Спивак. -СПб.: Нева, 2004. -224 с.
- 3 Стеклова, О.Е. Организационная культура: учеб. пособие / О.Е. Стеклова. -Ульяновск: УлГТУ, 2007. -127 с.
- 4 Тихомирова, О.Г. Организационная культура: формирование, развитие и оценка: учеб. пособие / О.Г. Тихомирова. - СПб.: СПбГУ ИТМО, 2008. -156 с.
- 5 Шабурова, А.В. Краеугольный камень успеха. Качество человеческого капитала организации и его структура / А.В. Шабурова // Креативная экономика. -2009. -№3.1. -С. 28-31.
- 6 Шульгина, Е.В. Развитие человеческого потенциала / Е.В. Шульгина // Moscow Business School, Москва, Россия.
- 7 Becker, Gary S. Human Capital /Gary S. Becker. - N.Y.: Columbia Univ. Press, 1964.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: человек, капитал, управление, культура, организация, уровень

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Мукасеев Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ОСОБЕННОСТИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА ПРИГРАНИЧНЫХ СУБЪЕКТОВ РОССИИ И КИТАЯ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.П. Некорошков, А.В. Новикова

PECULIARITIES OF INTERREGIONAL ECONOMIC COOPERATION BETWEEN BORDER REGIONS OF RUSSIA AND CHINA

Siberian state transport university

V.P. Nekhoroshkov, A.V. Novikova

The article is devoted to analysis of the peculiarities of foreign economic relations of Russia and China, in particular cross-border cooperation of Siberia and the Far East regions. Conclusions are made about the necessity of establishing the cross-border free economic zones, improving the legal base, improving the investment attractiveness of the border regions.

Keywords: trade and economic cooperation, interregional cooperation, Russia, China, the far East, Siberia

Анализ особенностей внешне-экономических отношений России и КНР, в частности приграничному сотрудничеству субъектов Сибири и Дальнего Востока. Сделаны выводы о необходимости создания приграничных специальных экономических зон, совершенствовании нормативно-правовой базы, повышении инвестиционной привлекательности приграничных регионов.

Развитие межрегиональных отношений приграничных территорий России и Китая рассматривается как один из важнейших путей интенсификации социально-экономического развития Сибири и Дальнего Востока России.

История современной российско-китайской торговли насчитывает уже два десятилетия. Хотя в этот период двусторонняя торговля между Российской Федерацией и КНР являлась в первую очередь важной составной частью общего комплекса межгосударственных политических отношений, тем не менее, ее основные особенности на практике оказались производными от сугубо экономических факторов – стратегии и темпов развития народного хозяйства, изменений в структуре экономики, масштабах и сферах участия двух государств в мирохозяйственных обменах.

Можно выделить такую особенность КНР, как четкая стратегия позиционирования страны в мировой экономике и курс на освоение приграничных территорий, в том числе и Российских.

Внешнеэкономические связи приграничных регионов отличаются рыночным обоснованием обоюдного интереса смежных территорий. Данный уровень ВЭС существенным образом повышает эффективность хозяйствующих субъектов и является значимым фактором для повышения конкурентоспособности регионов.

Создание специальных экономических зон (СЭЗ) – смелая практика экономической реформы Китая. СЭЗ стали «опытным участком» осуществления внешней открытости, в рамках которых активно развиваются Зоны приграничного экономического сотрудничества (ЗПЭС). В настоящее время в Китае действуют 14 ЗПЭС государственного уровня, созданные для развития экономики приграничных регионов страны на базе расширения прямых торговых отношений с соседними государствами [2].

В приграничных районах с Россией действуют четыре зоны: в городах Хэйхэ, Суйфэнхэ (провинция Хэйлунцзян), Маньчжурии (Автономный район Внутренняя Монголия) и Хуэйчунь (провинция Цзилинь).

Россия занимает девятое место в рейтинге двадцати основных торговых партнеров Китая. При этом для России Китай является главным торговым партнером. Объем китайско-российского товарооборота за 2013 г. составил 88,842 млрд. долл., в частности российский экспорт товаров в Китай составил 35,631 млрд. долл., при этом импорт товаров из Китая составил 53,212 млрд. долл. Рост внешней торговли между Россией и КНР за 2013 г. составил 1,5% [6].

Отраслевая структура китайско-российского товарооборота характеризуется последовательным повышением в экспорте Китая в Россию доли промышленной продукции (продукция химической промышленности, металлы и изделия из них, текстиль, текстильные изделия, обувь, машины, оборудование и транспортные средства).

Также характерной тенденцией в отраслевой структуре явилось увеличение доли продукции первичной переработки (сельскохозяйственное сырье, минеральные продукты, топ-

ливно-энергетические товары, древесина и целлюлоза) в импорте Китая из России.

Последние годы характеризуются существенным ростом активности субъектов Российской Федерации в области развития связей с китайскими регионами. В настоящее время соглашениями о сотрудничестве и побратимскими отношениями на уровне муниципальных образований связаны уже более 110 пар регионов-партнеров двух стран. Прямые контакты регионов России установлены с 5 автономными районами, 20 провинциями, 4 городами центрального подчинения и 1 специальным административным районом Китая.

В рамках деятельности по формированию договорной базы отношений России с КНР за последние 50 лет на межгосударственном и межправительственном уровне было подписано более 300 документов.

Традиционно высокой динамикой характеризуется российско-китайский делегационный обмен на уровне регионов, который представлен контактами между местными администрациями, законодательными органами, предприятиями и общественными организациями.

В рамках Подкомиссии по торгово-экономическому сотрудничеству Российско-Китайской Комиссии по подготовке регулярных встреч глав правительств (очередное 17-е заседание состоялось в октябре 2013 г.) действует Постоянная рабочая группа по межрегиональному и приграничному торгово-экономическому сотрудничеству. На заседании Постоянной рабочей группы в 1998 г. был создан Российско-Китайский Координационный совет по межрегиональному и приграничному сотрудничеству (15-е заседание состоялось в декабре 2014 г.).

Важным достижением в сфере межрегионального сотрудничества стала разработка Программы сотрудничества между регионами Дальнего Востока и Восточной Сибири Российской Федерации и Северо-Востока Китайской Народной Республики (2009-2018 гг.), которая была утверждена руководителями двух стран 23 сентября 2009 г. в Нью-Йорке. Официальное утверждение сторонами Программы имеет важное значение для сотрудничества между соседними регионами России и Китая [1].

Что касается регулирования приграничной торговли со стороны КНР, с середины 1990-х годов в стране начался активный процесс разработки и принятия нормативных документов, поощряющих этот вид торгово-экономического сотрудничества.

В опубликованном в ноябре 2008 г. циркуляре Госсовета КНР №92 – «Мерах по содействию торгово-экономическому развитию приграничных районов», подтверждается позиция китайского государства по поддержке развития пограничной торговли [2].

В Китае продолжается введение мер по поощрению и поддержке развития зон приграничного экономического сотрудничества (ЗПЭС). Эти меры включают в себя усиление кредитной поддержки инфраструктурного строительства в ЗПЭС, предоставление льгот предприятиям по подоходному налогу, предоставление ЗПЭС права на рассмотрение и учреждение проектов с участием иностранного капитала в сфере автодорожных перевозок, международных грузовых перевозок и оптовой торговли.

Также на 12-ю пятилетку (2011-2015 гг.) был принят пакет распоряжений и постановлений, в частности по вопросу приграничного сотрудничества. Предполагается в крупных пропускных пунктах создать специализированные компании, производящие таможенную очистку товара в установленной форме, поощрять хэйлунцзянские предприятия к созданию на Дальнем Востоке России современной сети по продаже и послепродажному обслуживанию китайских товаров, развивать здесь торгово-логистические центры, осуществлять в сотрудничестве с российскими ведомствами сертификацию китайской продукции [3].

Документ под названием «План развития пояса приграничной открытости» имеет характер комплексной региональной стратегии развития провинции Хэйлунцзян и ее сотрудничества с Россией.

Российский экспорт в регионы Китая, преимущественно состоит из нефти, нефтепродуктов и необработанной древесины, а импорт из КНР представлен обувью и одеждой.

Как и в предыдущие годы, наиболее активное взаимодействие на межрегиональном уровне было отмечено между субъектами Сибири и Дальнего Востока и северо-восточными провинциями КНР.

Товарооборот между Китаем и Дальним Востоком в 2013 г. увеличился на 21,1% – до 8,5 млрд. долл. На долю Дальнего Востока приходится 10,2% двусторонней российско-китайской торговли. Доля КНР во внешнеторговом обороте Дальнего Востока в 2013 г. составила 22,4%. Основными видами экспортной продукции ДФО в КНР являются нефть и нефтепродукты – 30% общего объема, рыба мороженая — 29%, лесоматериалы необработанные – 21%. Причем при распределении долей в стоимости импортных операций Китай не

оставил шансов на соперничество соседям. Его доля в стоимости поставок продукции на Дальний Восток и Забайкалье составляет 53% – 4,3 млрд. долл. Заметной статьей китайского импорта остается обувь – 20% общего объема [7].

Лидером по привлечению китайских инвестиций в ДФО значится Приморский край – 32,5%. Здесь идет строительство района торгово-экономического сотрудничества «Канцзи», создается российско-китайский промышленный парк «Дальний Восток», реализуются проекты в сфере переработки и транспортировки леса. На 2-м месте Сахалинская область – 21,9%. Как и в других субъектах округа, в основе внешнеэкономических отношений с Китаем здесь лежит экспорт нефти, угля, рыбы и морепродуктов. 3-е место принадлежит Амурской области – 16,2%. Туда средства из Китая поступают в виде прямых инвестиций, состоящих из взносов в уставный капитал создаваемых компаний и кредитов от зарубежных совладельцев предприятий лесного и строительного комплексов [7].

В последние годы заметно активное сотрудничество с КНР Сибирского федерального округа (СФО), товарооборот которого за период 2000-2008 гг. увеличился в 5,3 раза, достигнув максимальной отметки 11,8 млрд. долл. Конечно, мировой финансовый кризис значительно повлиял на объемы экспортно-импортных поставок, сократив их практически в 2 раза, в 2013 г. это показатель составил 8789789,7 тыс. долл. При этом, импорт СФО из КНР составил 2648955,7 тыс. долл., а экспорт 6140894,0 тыс. долл. [8].

Из более 300 наименований товаров, экспортруемых регионом в КНР, ведущее место занимают минеральные ресурсы (нефть и уголь), затем – древесина и целлюлозно-бумажные изделия и наконец – продукция химического производства. В импорте преобладают машинотехническая продукция, товары народного потребления, продовольственные товары и сельскохозяйственное сырье [4].

Лидером региона в торгово-экономических отношениях с КНР уже много лет является Иркутская область, где за период 2000-2012 гг. товарооборот возрос в более чем 5 раза. В 2012 г. этот показатель составил 2,723 млрд. долл., или 31,2% товарооборота области. В Приангарье из Китая ввозится все больше химических продуктов, товаров народного потребления и изделий из черных и цветных металлов [2].

Следующим по значимости для Китая партнером в СФО является Красноярский край. Здесь в 2012 г. двусторонний товарооборот составил 1,010 млрд. долл., или 13,7% товарооборота края [8].

Если два вышеупомянутых субъекта СФО имеет с КНР положительное сальдо торговли, то Новосибирская область за счет наращивания объемов импорта машиностроительной продукции, а также текстиля и обуви, на протяжении последних 10 лет все более увеличивает свой отрицательный торговый баланс.

На Красноярский край, Иркутскую и Новосибирскую области, а также и ряд других субъекта СФО, расположенных на территории Восточной Сибири, приходится более 90% экспорта необработанного леса-кругляка всей Сибири.

Среди регионов КНР наиболее успешно ведет торговлю с РФ провинция Хэйлунцзян. Реализация преимуществ соседства с Россией в последние годы виделась в Хэйлунцзяне одним из ключевых факторов собственного социально-экономического развития. Только за 11-ю пятилетку (2006-2010 гг.) объем торговли провинции с Россией составил 44 млрд. долл. (среднегодовой рост 23,3%), в том числе 7,5 млрд. долл. (+35%) – в 2010 г. Объем внешней торговли Хэйлунцзян с РФ неуклонно растет, и в 2012 г. рост составил 37,4% к 2011 г. Наименьшие объемы внешней торговли с РФ наблюдаются у Сянцзян-Уйгурского автономного округа, что в значительной степени зависит от наименьшей развитости региона и его инфраструктуры по сравнению с другими приграничными территориями Китая [5].

Из провинции Хэйлунцзян экспортруются такие товары, как электроника, высокотехнологичная продукция, одежда, обувь, текстильные изделия, автомобили, сельскохозяйственная продукция. В значительной степени импортируется из России сырья нефть, железная руда, древесина, целлюлоза [3].

Для успешного упрочнения и реализации имеющегося потенциала приграничной торговли России и Китая, необходимы дальнейшие целенаправленные двусторонние действия по созданию благоприятных условий и факторов развития отношений, в частности от Российской стороны важно совершенствование нормативно-правовой базы, обеспечение формирования инвестиционной привлекательности регионов приграничной торговли, разработка проектов развития и регионального значения, создание приграничных СЭЗ, что будет способствовать устойчивому развитию торгово-экономических отношений между приграничны-

ми регионами России и Китая, и соответственно играть важную роль в отношениях стран.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Программа сотрудничества между регионами Дальнего Востока и Восточной Сибири Российской Федерации и Северо-Востока Китайской Народной Республики (2009-2018 годы).
- 2 Россия и Китай: сотрудничество в условиях глобализации / под ред. М.Л. Титаренко. -М.: РАН, Ин-т Дал. Востока, 2011. -400 с.
- 3 Изотов, Д.А. Приграничное сотрудничество как объект исследования / Д.А. Изотов, С.Е. Юн. // Ойкумен. -2011. -№4. -С. 8-14.
- 4 Сырямкин, В.И. Опыт регионального сотрудничества с Китаем на примере взаимодействия ассоциации Сибирских и Дальневосточных городов и северо-восточных провинций Китая / В.И. Сырямкин, Б. Янь, Е.В. Ваганова // Проблемы учета и финансов. -2011. -№3. -С. 49-58.
- 5 Таможенная статистика Китая [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://chinadata.ru/pages/1149.html>. - 15.10.2014.
- 6 Федеральная таможенная служба [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.customs.ru/>. -10.10.2014.
- 7 Дальневосточный федеральный округ [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.dfo.gov.ru/>. -11.04.2013.
- 8 Сибирский федеральный округ [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://www.sibfo.ru/project/siberian-power.php>. -10.04.2013.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *торгово-экономическое сотрудничество, межрегиональное сотрудничество, Россия, Китай, Дальний Восток, Сибирь*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: *Некорюков Владимир Петрович, канд. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

Новикова Анна Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ НА ПОЛИГОНЕ И В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Д.А. Сивицкий

METHOD OF DYNAMIC PROGRAMMING AS A BASIS OF ALGORITHM OF THE SOLUTION OF A PROBLEM OF DISTRIBUTION OF SORTING WORK AT THE OPERATING DOMAIN AND IN A RAILWAY JUNCTION
Siberian state transport university
D.A. Sivitsky

The article reviews the problem of classification distribution at the operating domain and the railroad junction. Therein we have suggested using the dynamic programming method. Besides, the procedure of throughput distribution among facilities based on the criterion of the minimum reduced consumption has been described.

Keywords: dynamic programming, classification work distribution, classification work

Рассмотрена проблема распределения сортировочной работы на полигоне и в железнодорожном узле. Предлагается использование метода динамического программирования. Описана процедура распределения пропускной способности между объектами по критерию минимума приведенных расходов.

Одним из направлений совершенствования переработки вагонопотоков является концентрация этой работы на крупных технических станциях. На многих из них в последние годы была произведена реконструкция имеющихся сортировочных устройств, связанная с масштабной механизацией и автоматизацией сортировочного процесса, что привело к некоторому увеличению наличной перерабатывающей способности. Таким образом, у этих сортировочных устройств появился резерв перерабатывающей способности, что и послужило одной из причин усиления концентрации переработки вагонопотока на этих станциях, как в узлах, так и на некоторых полиграонах. Это позволило на определённый период сократить эксплуатационные расходы по переработке вагонопотоков, используя для однотипной работы возможности хорошо технически оснащённых станций.

Однако в дальнейшем произошло увеличение потребной перерабатывающей способности, в том числе, из-за существенного изменения структуры поступающего вагонопотока: образование большого количества операторов подвижного состава привело к значительному увеличению числа назначений, что существенно увеличило, кроме прочего, объем повторной сортировки. В результате имеющиеся резервы перерабатывающей способности на многих крупных сортировочных станциях оказались практически исчерпанными, и появилась потребность их наращивания.

В связи с этим, появляется необходимость реконструкции и модернизации крупных сортировочных станций. Однако, как правило, сортировочные станции, расположенные в черте городской зоны, не имеют достаточных резервов развития. Кроме этого, дальнейшее развитие крупных станций оказывается все более дорогостоящим, поскольку связано с существенными объемами реконструкции.

Одним из перспективных вариантов решения задачи усиления наличной перерабатывающей способности является перенос части сортировочной работы на другие, менее развитые станции в узле. Следовательно, наиболее остро встает вопрос не столько о концентрации сортировочной работы, сколько о её рациональном перераспределении в узле.

Процесс распределения сортировочной работы в узле обладает следующими особенностями:

– Загрузка объектов. При достаточно высокой загрузке объекта (например, горки), могут возникать значительные дополнительные простоя составов, что влечет за собой увеличение эксплуатационных расходов, задержку доставки груза и т.д. При переносе работы на другую станцию подобных затрат можно избежать.

– Разница в стоимости развития крупных и малых объектов. Здесь подразумевается, что увеличить объем производства какой-либо сложной и высокоразвитой системы может быть гораздо сложнее и дороже, чем сделать то же самое с более простым объектом. Например, необходимо увеличить перерабатывающую способность сортировочной горки, добавив дополнительный сортировочный путь. Если рассматривать сортировочный комплект крупной сортировочной станции, то такое переустройство может повлечь за собой переустройство обеих горловин сортировочного парка, изменение длины вытяжек формирования. С горкой малой мощности, которая, с большой долей вероятности, будет размещаться на грузовой или участковой станции, имеющей резервы развития, таких масштабных проблем не возникнет. Переустройство горловин, в связи с меньшим количеством полупучков, стрелок и кривых, окажется менее затратным.

– Размещение пунктов погрузки и выгрузки. В зависимости от расположения наиболее крупных промышленных зон, подъездных путей, наиболее рациональным может являться перенос сортировочной работы на станции, находящиеся вблизи подобных предприятий. Это может быть связано как с вышеназванными пунктами, так и со снижением пробега вагонов в узле.

В качестве примера, обозначенной выше проблемы, можно привести станцию Новокузнецк Сортировочный, горка на которой была ранее демонтирована, а значительная часть сортировочной работы перенесена на автоматизированную сортировочную горку сортировочной станции Новокузнецк Восточный. Однако, в настоящее время количество назначений на сортировочной станции существенно превышает количество сортировочных путей и, в результате, объем повторной сортировки близок к 50%.

Использование метода динамического программирования. Вышеназванные особенности делают процесс распределения сортировочной работы в узле достаточно сложным. При этом, чем больше в узле технологических линий по переработке вагонопотоков, тем сложнее осуществить однозначный выбор, так как каждый объект имеет свои особенности, резервы развития и т.д.

Данная задача может быть интерпретирована как задача распределения ресурсов. Она может решаться в общем виде методом динамического программирования [1], с тем допущением, что под ресурсами в данном случае мы понимаем суммарную мощность всей системы (железнодорожного узла, полигона) по переработке вагонопотоков, то есть суммарную наличную перерабатывающую способность.

Этот метод позволяет решить глобальную задачу путем разложения её на некоторое количество подзадач, имеющих однозначное оптимальное решение. Последовательно решая эти подзадачи, мы можем получить итоговое оптимальное решение.

Исходными данными для определения рационального распределения работы в узле будут являться следующие данные:

- объемы переработки вагонов N_i , которые необходимо нарастить в узле, или же общий объем переработки, который должен быть перераспределен;
- количество технологических линий (объектов) n , между которыми будет распределяться сортировочная работа;
- затраты Z_{in} связанные с реализацией объемов переработки на конкретном объекте.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Исходные данные к расчёту можно представить по форме таблицы 1.

В математическом виде это можно представить следующим образом: пусть затраты являются функцией от объема переработки

$$Z_{in} = f(N_i^n),$$

где i — номер объекта

i — индекс, соответствующий какому-либо объему переработки.

Важно заметить, что подобные исходные данные могут иметь ограничения, определяющиеся объемами переработки. То есть слишком маленькие или же слишком большие объемы могут быть нереализуемы, в связи с определенными техническими причинами.

Для простоты понимания последующего решения и удобства математической обработки, значение Z_{in} для ограничивающих объемов (невозможные или заведомо нецелесообразные варианты) будет условно приниматься численно равным большой величине, которая гарантированно исключит данный вариант из процесса оптимизации.

Имея вышенназванные исходные данные, можно приступить к решению этой задачи методом динамического программирования. Как говорилось ранее, способ подразумевает разделение задачи на несколько подзадач. При этом решение каждой последующей подзадачи будет зависеть от решения предыдущей, то есть решаться ступенчатым образом. Подзадачей является распределение объемов переработки между существующим оптимальным решением и новым элементом в системе. Изначально оптимальным решением являются значения затрат, соответствующие первому объекту, так как один объект относительно самого себя оптимален. В роли нового элемента системы, с учетом которого должна быть заново перераспределена вся сортировочная работа, будет являться второй объект.

Иными словами, перебирая определенным образом все возможные варианты для каждого N_i , будет определено наиболее оптимальное сочетание распределения объемов переработки. То есть для каждого N_i определяются минимальные затраты

$$Z_{in}^{optm} = \min [f(N_x) + f(N_i - N_x)],$$

где

$$x \in [1; i].$$

Получив набор оптимальных значений (минимальных затрат) для каждого N_i , можно приступить к следующей подзадаче, которая представляет собой тот же самый процесс, что и для первых двух объектов. При этом в роли оптимального решения будет выступать набор значений, полученный в первой подзадаче, а новым элементом системы будет являться следующий объект (в нашем случае — третий). Это значит, что, переходя к следующей подзадаче, объем переработки всегда будет распределяться между набором оптимальных решений по предыдущим шагам и новым объектом.

После решения всех подзадач формируется итоговая таблица, в которой собираются все решения, полученные в каждой подзадаче. Важно понимать, что каждая последующая подзадача учитывает в себе оптимальные решения предыдущих подзадач. Благодаря этому, с помощью данной таблицы представляется возможным определить оптимальное распределение одновременно для любого объема переработки и для любого количества объектов. Форма решения приведена в таблице 2.

Таблица 2 – Форма итогового решения задачи распределения недостатка наличной перерабатывающей способности

i	Подзадача 1	Подзадача 2	...	Подзадача n
1	Z_{11}^{optm}	N_1	Z_{12}^{optm}	N_1
2	Z_{21}^{optm}	N_2	Z_{22}^{optm}	N_2
...
i	Z_{i1}^{optm}	N_i	Z_{i2}^{optm}	N_i

позволяет получать не только оптимальное решение, но и другие решения, близкие к оптимальному, с учётом возможных ограничений по числу объектов и возможностям их развития.

Таблица 1 – Общий вид исходных данных

N	Объект 1	Объект 2	...	Объект n
N_1	Z_{11}	Z_{12}	...	Z_{1n}
N_2	Z_{21}	Z_{22}	...	Z_{2n}
...
N_i	Z_{i1}	Z_{i2}	...	Z_{in}

На основании данной таблицы может быть принято решение об оптимальном распределении сортировочной работы в узле для любого количества объектов и для любых объемов переработки. Таким образом, предложенный метод распределения сортировочной работы

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вентцель, Е.С. Исследование операций: задачи, принципы, методология : учеб. пособие / Е.С. Вентцель. -5-е изд., стер. -М.: КНОРУС, 2013. -192 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамическое программирование, распределение сортиментной работы, сортиментная работа

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сивицкий Дмитрий Андреевич, аспирант, ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Коханчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

КОНЦЕПЦИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ИЗДЕРЖЕК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.А. Трефилова

THE CONCEPT OF VALUE EFFECTIVENESS IN THE MANAGEMENT OF RAILWAY TRANSPORT
Siberian state transport university

I.A. Trefilova

Formulated the concept of value effectiveness in the management of railway transport. Showing-is the relationship of this economic category categories of efficiency of business enterprises.

Keywords: effective costs, the effectiveness of economic activity, the value of the enterprise, value-based management

Формулируется концепция эффективных издержек в системе управления предприятием железнодорожного транспорта. Показывается взаимосвязь данной экономической категории с категорией эффективности хозяйственной деятельности предприятия.

В конце 2013 г. Правительство РФ утвердило «План мероприятий по ограничению конечной стоимости товаров и услуг инфраструктурных компаний при сохранении их финансовой устойчивости и инвестиционной привлекательности». Основным элементом данного плана является сокращение внутренних издержек компаний в размере не менее 10% ежегодно.

Проблема сокращения издержек предприятий железнодорожного транспорта достаточно сложна в связи с необходимостью учета не только финансово-экономических последствий (повышение рентабельности за счет снижения финансовой устойчивости и инвестиционной привлекательности), но и функциональных последствий принятых решений (обеспечение безопасности и технической стабильности транспортного комплекса) [1]. При формировании конкретных мероприятий по сокращению издержек на предприятиях транспортного комплекса, поэтому рекомендуется использовать методологию функционально-стоимостного анализа [2, 3]. Здесь, в частности, при анализе издержек принята классификация на функционально необходимые и функционально избыточные издержки. Функционально необходимые издержки применительно к транспорту это издержки, обеспечивающие безопасное и стабильное функционирование транспортного комплекса. Функционально избыточные издержки – это издержки, связанные с улучшением различных потребительских характеристик транспортного комплекса (например, повышение эффективности, комфорта, доступности и т.п.).

Очевидно, что задача по сокращению издержек на предприятиях железнодорожного транспорта, в связи с вышесказанным, должна формулироваться путем определения возможности сокращения функционально избыточных издержек при обеспечении финансовой устойчивости и инвестиционной привлекательности компании [4]. При этом необходимым условием является не снижение уровня эффективности хозяйственной деятельности предприятия. Концепция определения эффективности хозяйственной деятельности предприятий имеет свое историческое развитие [5]. В настоящее время (таблица) данная концепция описывается на показатели ценностно-ориентированного менеджмента [6].

Таким образом, при сокращении издержек необходимо определить уровень так называемых эффективных издержек, то есть функционально избыточных издержек, которые не приводят к снижению эффективности хозяйственной деятельности предприятия, увеличенных на величину функционально необходимых издержек.

В рыночной экономике эффективность хозяйственной деятельности определяется пре-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

вышением капитализации предприятия над величиной инвестированного капитала. Другими словами – стоимость предприятия, рассчитанная на основе его доходов, уменьшенных на величину эффективных издержек, должна превышать величину балансовой стоимости его собственного капитала [6].

Таблица – Этапы развития концепции определения эффективности деятельности предприятия

1920-е гг.	1970-е гг.	1980-е гг.	1990-е гг.
Модель Дюпона (Du Pont Model)	Чистая прибыль на одну акцию (EPS)	Коэффициент соотношения рыночной и балансовой стоимости акций (M/B)	Экономическая добавленная стоимость(EVA[7])
Рентабельность инвестиций (ROI)	Коэффициент соотношения цены акции к чистой прибыли (P/E)	Рентабельность акционерного капитала (ROE);	Прибыль до выплаты процентов, налогов и дивидендов (EBITDA)
		Рентабельность чистых активов (RONA)	Рыночная добавленная стоимость (MVA)
		Денежный поток (Cash Flow)	Сбалансированная система показателей (Balanced Scorecard – BSC)
			Показатель совокупной акционерной доходности (TSR)
			Денежный поток отдачи на инвестированный капитал (CFROI)

Решение указанной проблемы предлагается проводить в рамках разработанной нами системы стратегического учета эффективных издержек [7]. В основе системы положено формирование функционально-стоимостных балансов предприятия, включающее в себя расчет капитализированной стоимости собственного и основного капитала. При этом величина средневзвешенной стоимости капитала (WACC) определяется в допустимом диапазоне сокращения эффективных издержек.

Подводя итог сказанному сделаем выводы:

- широко используемые в отечественной экономической науке и практике критерии эффективности хозяйственной деятельности, основанные на величине чистой прибыли и балансовой стоимости используемых ресурсов, не отвечают современным требованиям рыночной экономики;
- применение концепции ценностно-ориентированного менеджмента к специфике хозяйственной деятельности крупных инфраструктурных предприятий (к которым, например, относятся предприятия железнодорожного транспорта) затруднено наличием специфических издержек, связанных, в том числе, с обеспечением безопасности и надежности их функционирования;
- предложенная концепция эффективных издержек позволяет найти новые методологические и методические подходы к решению данной важнейшей народнохозяйственной проблемы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Щербаков, В.А. Методика исследования инвестиционной привлекательности предприятий транспортного комплекса / В.А. Щербаков, К.А. Сережин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 140-143.
- 2 Щербаков, В.А. Методология управлеченческого функционально-стоимостного анализа для предприятий транспорта / В.А. Щербаков, Е.В. Савельева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -96 с.
- 3 Трефилова, И.А. Функционально-стоимостные балансы в системе стратегического учета на предприятиях транспорта / И.А. Трефилова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 128-130.
- 4 Трефилова, И.А. Фундаментальные оценки стоимости объектов и функционально-стоимостные балансы в системе стратегического учета на предприятиях / И.А. Трефилова, В.А. Щербаков // Перспективы развития теории и практики бухгалтерского учета в инновационной экономике / НГУЭУ. -Новосибирск, 2013. -С. 467-475.
- 5 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятий (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -Новосибирск, 2003. -128 с.
- 6 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -М.: Омега-Л, 2012. -315 с.
- 7 Trefilova, I.A. Model of economic value added (EVA), ways to improve cost management of the enterprise. / I.A. Trefilova // Science, Technology and Higher Education: materials of the III intern. research and practice conf., Oct. 16th, 2013, Westwood, Canada. -2013. -Vol.I. -P. 200-201.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эффективные издержки, эффективность хозяйственной деятельности, стоимость

предприятия, ценностно-ориентированный менеджмент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Трефилова Ирина Александровна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

К ВОПРОСУ ОБ ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРИГРАНИЧНОМ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЧАСТКЕ

Улан-Удэнский институт железнодорожного транспорта - филиал
ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей
сообщения»

Н.Н. Красильникова

ON THE PROBLEM OF FREIGHT TRAINS TRAFFIC MANAGEMENT WITHIN CLOSE TO BORDER SECTION
Ulan-Ude institute of railway transport, a branch Irkutsk state university of railway engineering
N.N. Krasilnikova

The paper explores the problems of the organization of the scheduled freight trains traffic within close to border section. The problems can be eliminated with the development of the technical and technological base of the entry point of the bordering state

Keywords: scheduled freight trains traffic management, railway border entry point

Исследованы проблемы организации движения грузовых поездов по расписанию на приграничном участке. Устранение проблем возможно при развитии технической и технологической базы пункта пропуска сопредельной страны

Интенсивное развитие торговых отношений между Россией и Китаем подтверждает величина товарооборота – 90 млрд. долларов в 2013 г., а в 2015 г. по прогнозам специалистов эта цифра достигнет 100 млрд. долларов. Объем перевозок через пограничные переходы в сообщении с КНР за 2013 г. увеличился по сравнению с 2012 г. на 8% до 30,5 млн. т. В том числе на экспорт было отправлено 27,9 млн. т грузов, на импорт – 2,5 млн. т. Транзит в КНР составил 75,4 тыс. т, транзит из КНР – 135,5 тыс. т.

20 мая 2014 г. ОАО «Российские железные дороги» и «Китайские железные дороги» подписали соглашение о стратегическом сотрудничестве. Нагрузка на международные пункты пропуска и приграничную транспортную инфраструктуру будет только возрастать. Эти факторы требуют развития, как самой инфраструктуры, так и использование современных логистических технологий организации движения.

Организация движения поездов на сети железных дорог России, согласно «Комплексной программе поэтапного перехода на организацию движения грузовых поездов по расписанию на 2011-2015 гг.», должна обеспечить до 80% грузовых перевозок по твердым «ниткам» графика к 2015 г.

Технология организации движения грузовых поездов по расписанию внедряется не только на участках железнодорожной сети со стабильно высокими грузопотоками, но и на подходах к пограничным переходам.

Цель данной статьи – исследование проблем, возникающих на этапе внедрения системы организации движения грузовых поездов по твердым «ниткам» графика, на приграничном железнодорожном участке. В статье рассматривается участок Восточно-Сибирской железной дороги (ВСЖД) Тальцы-Наушки (таблица 1).

Таблица 1 – Характеристика железнодорожного участка Тальцы-Наушки

Название участка	Протяженность, км	Характеристика участка
Тальцы-Наушки	261	Однопутный, не электрифицированный, 7 пар поездов в сутки

Приграничный железнодорожный участок – это участок от пограничной железнодорожной станции до ближайшей узловой станции или до станции, осуществляющей операции по формированию и расформированию составов.

Железнодорожная станция Наушки пограничная со станцией Сухэ-Батор Монголия. Данный участок входит в состав международного транспортного коридора «Транссиб». Пограничный переход осуществляет внешнеторговые перевозки грузов транзитом в Китай через территорию Монголии. В 2013 г. среднесуточная передача поездов через пункт пропуска Наушки-Сухэ-Батор достигла максимума – 12 поездов.

Из четырех железнодорожных пунктов пропуска (ЖДПП), через которые осуществляется перевозка грузов в Китай, расположенных в Восточной Сибири, Забайкалье и Дальнем Востоке до станции Наушки наименьшее расстояние (таблица 2). На это достоинство делается основной упор в программах развития транспорта Республики Бурятия для привлечения до-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

полнительных внешнеторговых грузопотоков через данный пункт пропуска.

Таблица 2 – Расстояние до ЖДПП на российско-китайской и российско-монгольской границе

Наименование ЖДПП	Железная дорога	Расстояние от Москвы, км
Забайкальск-Маньчжурия	Забайкальская	6553
Гродеково-Суйфэнхэ	Дальневосточная	9169
Камышовая-Хуньчунь	Дальневосточная	9322
Наушки-Сухэ-Батор	Восточно-Сибирская	5795

Для привлечения грузопотоков через ЖДПП Наушки-Сухэ-Батор в 2013 г. провели эксперимент отправления поездов по твердым «ниткам» графика. При работе по этой технологии должны соблюдаться следующие принципы:

- состав формируется точно ко времени прикрепленной нитки графика;
- гарантированная обеспеченность состава локомотивом;
- обеспеченность локомотивной бригадой [1].

При разработке твердых «ниток» графика используют гибкие нормы веса и длины отправляемых поездов. Все организационные, технологические и технические процессы перевозки четко привязаны ко времени и точкам отправления и прибытия груза.

При организации перевозки внешнеторговых грузов транзитом доставка грузов точно в срок является важнейшим качественным показателем. Также информационный поток должен сопутствовать материальному, то есть клиент может в любой момент времени узнать о продвижении своего груза. Все эти показатели выполняются при отправлении грузовых поездов по твердым «ниткам» графика.

При внедрении данной технологии на приграничном участке необходимо соответствующее техническое и технологическое развитие транспортной инфраструктуры сопредельной железнодорожной станции Сухэ-Батор, то есть подобное российской. Это позволит осуществлять работу с составами в одно «окно» на российско-монгольской границе и отправлять их со станции Наушки строго по графику.

При отправлении поездов по твердым «ниткам» накопление состава осуществляется ко времени заданной нитки графика. Отправление поездов с импортным грузом происходит со станции Наушки неравномерно, ввиду неустойчивого вагонопотока со стороны Монголии. Существуют сбои в документообороте, так как на Улан-Баторской железной дороге (УБЖД) отсутствуют автоматизированные системы управления и программно-технические комплексы идентичные российским. Вся работа с перевозочными документами осуществляется на станции Сухэ-Батор вручную. Конторе передач станции Наушки приходится сканировать документы, прибывающего грузового поезда со станции Сухэ-Батор. На эту работу в технологическом графике отводится 50 минут. Одновременно с оформление документов товарными кассирами на автоматизированном рабочем месте сканированные документы проверяют контрольные органы (таможенные, ветеринарные, госинспекция, фитосанитарные).

Ошибки, допущенные в документах, работниками УБЖД приводят к отцепке вагонов и возврату их на станцию Сухэ-Батор. Около 90% вагонов возвращаются в Монголию именно из-за документов, остальное приходится на коммерческий, технический брак, контрольные органы.

Главным препятствием на пути внедрения данной технологии является отсутствие автоматизированных систем управления (АСУ) и программно-технических комплексов для более высокой эффективности работы на УБЖД.

До прогнозного увеличения вагонопотока между Россией и Китаем, через ЖДПП Наушки-Сухэ-Батор, необходимо оснастить УБЖД современными АСУ.

Необходимые инвестиции в развитие УБЖД до 2020 г. оцениваются минимум в 890 млн. долл. [2].

Первые шаги уже сделаны: ОАО «РЖД» с декабря 2009 г. осуществляет доверительное управление 50% монголо-российского акционерного общества «Улан-Баторская железная дорога». За пять лет на Улан-Баторской железной дороге погрузка выросла на 48,3%, а грузооборот на 53,5%.

Таким образом, только после полного технического оснащения УБЖД и организации согласованного подвода грузопотоков к ЖДПП возможно осуществлять движение грузовых поездов по твердым «ниткам» графика на приграничном участке Тальцы-Наушки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шаров, В.А. Интегрированная технология управления движением грузовых поездов по расписанию / В.А. Шаров, А.Ф. Бородин // Ж.-д. трансп. -2011. -№8. -С. 11-22.

2 Морозов, В. РЖД: в Монголии мы не только строим пути, но и привносим свои стандарты [Электронный ресурс] / В. Морозов. -Режим доступа: URL: <http://ria.ru/interview/20140623/1013218218>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организация движения грузовых поездов по расписанию, железнодорожный пункт пропуска
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Красильникова Наталья Николаевна, канд. техн. наук, старший преподаватель УУМЖТ-филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 670034, г.Улан-Удэ, пр.50 лет Октября, 58, УУМЖТ-филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Корховая

THE CHOICE OF THE RATIONAL BEHAVIOUR MODEL OF ENTERPRISE

Siberian state transport university

E.A. Korkhovaya

The article describes some aspects of behavioral economics. We analyze the impact of market variables (prices, profit) of classical economic theory such as seasonality of demand in the construction industry company behavior – the subject of small business.

Keywords: the behavior model of the enterprise, the competitive environment, the seasonality of demand, small business

Приводится описание некоторых аспектов поведенческой экономики. Даётся анализ влияния на рыночные переменные (цены, прибыль) таких составляющих классической экономической теории как сезонность спроса в рамках моделей поведения предприятия строительной индустрии - субъекта малого предпринимательства.

Рыночные преобразования в экономике страны затрагивают все сферы производства и обусловливают модели поведения в конкурентной среде различных предприятий. Последние, как самостоятельные хозяйствующие организации, при производстве продукции, выполнении работ и оказании услуг стремятся, с одной стороны, удовлетворить потребности общества, с другой – получить прибыль. Такая предприимчивость весьма характерна для субъектов малого предпринимательства, чей бизнес связан с функцией спроса, и от величины колебания которой зависит поведение этих экономических агентов.

В частности, сезонность спроса оказывает существенное влияние на модель поведения субъекта малого предпринимательства при принятии решений о рациональном ведении бизнеса. Сезонность – это изменение покупательской активности по определённым отрезкам времени, или в различные календарные периоды. В зависимости от климатических признаков (погодных условий) происходит подъём, либо спад покупательской активности, а, следовательно, и повышение или снижение спроса на различные товары и услуги. Высокий летний сезонный спрос сохраняется на товары и услуги по следующим видам экономической деятельности – пассажирские перевозки, работы на открытых строительных площадках и т.п. Для туризма, как индустрии отдыха и развлечений, для производства некоторых продуктов питания (прохладительные напитки, мороженое) и реализации отдельных предметов потребления (летняя одежда, обувь, спортивный инвентарь) также характерен летний сезонный спрос.

В свою очередь, высокий зимний сезонный спрос сохраняется на товары и услуги по таким видам деятельности как жилищно-коммунальное хозяйство (обогрев жилья), реализация зимней одежды и обуви, работу отдельных предприятий индустрии отдыха и развлечений – кинотеатров, спортивно-оздоровительных центров в крытых помещениях и т.п. Практически не подвержены влиянию сезонности производство и реализация товаров и услуг «первой необходимости», в частности, молочная и хлебная продукция и некоторые виды социальной и медицинской помощи.

В настоящее время разработано и описано довольно много маркетинговых программ, которые позволяют руководителю малого предприятия разрешить проблему сезонности спроса, а, следовательно, и выбрать модель поведения на рынке. Ряд программ основываются на поддержании ассортимента товаров, пользующихся спросом всегда [1, 2], другие учитывают человеческую потребность в поиске выгоды [3, 4]. К ним относятся рекламные маркетинговые предложения – скидки, распродажи, акции. Предприятие (и предпринима-

тель), принимающее такую модель поведения, должны иметь определённый «имидж» и устойчивость в своём сегменте рынка.

Вместе с тем, существуют группы товаров и услуг, сезонность спроса на которые ярко выражена, или, другими словами, товар или услуга приобретаются только в определённый период времени. При этом предприятие, как субъект малого предпринимательства, должно сохранять свою финансовую устойчивость, как в периоды высокого спроса, так и в периоды снижения сезонного спроса [5, 6].

Рассмотрим предприятие строительной индустрии *N*. Анализируемое предприятие – субъект малого предпринимательства, сфера деятельности которого включает производство продукции (пиломатериалы), выполнение работ (обработка древесины) и оказание услуг (трансфер или доставка потребителю; продажа сопутствующих товаров – вяжущих материалов).

Основываясь на предоставленных рабочих документах предприятия *N* и данных его финансово-экономической отчётности, мы изучили его производственную деятельность и проанализировали поведенческие линии предприятия в конкурентной среде за десятилетний период. Анализ показал, что за время своего становления и развития, деятельность предприятия, а, соответственно, и модели поведения претерпевали изменения. Схематично модели можно сгруппировать следующим образом:

Первая модель отражает такие особенности финансово-экономической деятельности, как поддержание политики максимально высоких цен в период подъёма сезонного спроса; годовое и равновеликое перераспределение сезонной прибыли для решения оперативных задач; использование возможностей кредитования в период спада сезона спроса для полной стабилизации финансовой устойчивости предприятия. Отличительные черты второй поведенческой модели – это политика низких цен на продукцию предприятия в течение всего года, сопровождаемая или дополняемая, как это следует из рабочих документов предприятия *N*, сравнительной покупательской активностью в период сезона спада. Отметим, что кредитные ресурсы в этот финансовый год предприятием не использовались. Такие ресурсы (кредитная линия) были востребованы в тот период деятельности, когда в деятельности предприятия *N* нами были отмечены факты расширения номенклатуры товаров. Попытки предприятия состояться при такой политике мы отнесли к третьей поведенческой модели. И, наконец, 4-я модель поведения, отличительными чертами которой, по нашему мнению, должны являться такие характеристики, как поддержание политики высоких цен на продукцию в период сезона подъёма спроса, и низких цен в период спада; рациональное перераспределение сезонной прибыли; использование возможностей кредитных линий банков при расширении номенклатуры товаров для сглаживания сезона спроса. Для исследуемого предприятия *N* такая модель поведения является идеальной, в настоящее время реализованы лишь её отдельные элементы.

При определении модели поведения для предприятия *N* мы исходили из того, что в настоящее время оно имеет довольно ограниченную номенклатуру товаров, а, судя по документам, в период сезона спада спрос на его продукцию сохраняется на низком уровне. Поэтому, прогнозируя модель поведения данного предприятия на «будущие периоды», основные факторы, влияющие на выбор стратегии поведения, и модели поведения были обобщены в таблицу.

Таблица – Сравнительная оценка менеджмента предприятия, балл*

Факторы, влияющие на выбор стратегии поведения предприятия	Модели поведения предприятия			
	1-я	2-я	3-я	4-я
Запас финансовой устойчивости	5	3	4	5
Наличие других фирм-конкурентов	3	2	4	2
Возможность получения кредитной линии банков	5	3	3	5
ТERRITORIALНАЯ ВОЗМОЖНОСТЬ РАСШИРЕНИЯ НОМЕНКЛАТУРЫ ТОВАРОВ	3	2	3	3
Финансовая возможность расширения номенклатуры товаров	3	2	2	3
Политика государства в области интересов данного предприятия	5	5	5	5
Всего баллов	24	17	21	23

*-большая балльность показывает большую значимость фактора в поведенческой модели и степень его соответствия современной хозяйственной деятельности (политике) предприятия *N*.

Результаты анализа показали, что в настоящее время менеджмент предприятия имеет ярко выраженные черты, присущие первой поведенческой модели. Это выражается в том, что в период подъёма сезонного спроса предприятие N проводит политику высоких цен на свой основной товар – пиломатериалы; оперативные задачи по поддержанию финансово-экономической устойчивости решает как за счёт годового перераспределения сезонной прибыли, так и за счёт банковского кредитования. Регламентация хозяйственной деятельности предприятия N не соответствует модели поведения №2 по показателям ценовой политики и последствиям, «вытекающим» из этого факта. По соответствуию исследуемого предприятия поведенческой модели №3, отметим следующее. Предприятие N, расширяет номенклатуру товаров, но введение новых групп товаров, как это следует из финансово-экономических документов, происходит в высокий сезон, когда итак имеется повышенный спрос на все виды пиломатериала и услуги, связанные с его доставкой потребителю.

Изучение и анализ регионального рынка аналогичных товаров и услуг показали, что исследуемое предприятие – не единственное в данном сегменте предпринимательской деятельности. Более десятка малых предприятий продают пиломатериалы, ассортимент которых примерно соответствует предложению предприятия N. Набор сопутствующих товаров, перечень выполняемых работ и услуг также соотносится с предложением фирм – потенциальных конкурентов. Поэтому, для того, чтобы успешно продолжать предпринимательскую деятельность, обеспечить и поддерживать финансовую устойчивость, что соответствует поведенческой модели №4, предприятию N следует проводить политику высоких цен на свой основной товар – пиломатериалы - в период подъёма сезонного спроса и держать сравнительно низкие цены на свои товары и услуги в период спада спроса. Для сглаживания сезонного спроса в финансовом результате деятельности за год, предприятию N рекомендуется расширить номенклатурный перечень товаров, как собственного производства, так и готовой продукции строительного назначения, взятой «под реализацию». Для осуществления названных мероприятий предприятию N возможно активнее использовать такой инструмент, как банковское кредитование (кредитная история предыдущих периодов позволяет обратиться к этому инструменту).

Очевидно, что, в современных условиях хозяйствования для предприятия N, чья производственная деятельность направлена на удовлетворение потребительских предпочтений населения, проживающего в южной зоне Западной Сибири, опимальной является поведенческая модель, связанная с политикой ценовой максимизации в объективно короткий период повышения спроса. В период снижения спроса предприниматель может, как снизить цену на свою продукцию, так и сохранить её высокой, при этом имея в виду, что компенсировать недостающую прибыль и сохранять финансово-экономическую устойчивость предприятия придётся либо за счёт собственных средств, либо используя заёмные средства. Собственные средства могут быть получены за счёт расширения номенклатуры товаров, которое потребует от предприятия N новых инвестиций в производство.

Таким образом, грамотно подобранная модель поведения предприятия – субъекта малого предпринимательства – будет способствовать его финансовой устойчивости, сохранению платёжеспособности, росту доходности предприятия в целом. Практическое значение результатов исследования заключается в их реальном апробировании, внедрении при разработке и определённой унификации для предприятий малого бизнеса, работающих в видах деятельности, связанных с «продолжением производства в сфере обращения».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Смехов, А.А. Маркетинговые модели транспортного рынка / А.А. Смехов. -М.: Транспорт, 1998. -120 с.
- 2 Ельчанинов, Д.В. Современные экономические инструменты антикризисного управления предприятиями / Д.В. Ельчанинов. -Самара: Изд-во СГЭУ, 2008. -126 с.
- 3 Герасименко, В.В. Ценовая политика фирмы / В.В. Герасименко // Маркетинг. -1995. -№1. -С. 48-63.
- 4 Авдашева, С.Б. Теория организации отраслевых рынков / С.Б. Авдашева, Н.М. Розанова. -М.: Магистр, 1998. -311 с.
- 5 Голубков, Е.П. Маркетинговые исследования: теория, методология и практика / Е.П. Голубков. -М.: Финпресс, 1998. -416 с.
- 6 Котлер, Ф. Основы маркетинга: пер. с англ. / Ф. Котлер. -М.: Прогресс, 1990. -736 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: модель поведения предприятия, конкурентная среда, сезонность спроса, малое предпринимательство

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Корховая Елена Александровна, канд. экон. наук, преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КАК ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОДОВ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

К.В. Ятчук

ANALYSIS OF CORRELATIONS AS A PRELIMINARY STAGE OF PLANNING COSTS

Novosibirsk state academy of water transport

K.V. Yatchuk

Correlation analysis is conducted to study dependence of the cost of fuel on the main causal factors for JSC «Tomsk Shipping Company». We identified the most significant factors and checked the significance of the correlation coefficients by using Student t-test.

Keywords: correlation analysis, fuel costs, factors, operating costs

Проводится корреляционный анализ зависимости расходов на топливо от основных причинных факторов для ОАО «Томская судоходная компания», выявляются наиболее значимые факторы, проверяется существенность полученных коэффициентов корреляции по t-критерию Стьюдента.

Повышение эффективности деятельности предприятий речного транспорта напрямую связано с развитием теории и практики планирования и экономического анализа. Основной задачей анализа является изучение связей между явлениями, определение и исследование причинных факторов, влияющих на результирующие показатели работы транспортных компаний. Систематический и объективный анализ является одним из важнейших и необходимых условий принятия обоснованных плановых решений.

Уровень экономических показателей, в том числе эксплуатационных расходов, зависит от множества факторов. Связи могут быть достаточно сложными и проявляются лишь в тенденции через ряд случайных событий. Для выявления связей и устранения случайностей используются методы математической статистики, в частности – корреляционно-регрессионный анализ. С его помощью оценивается интенсивность и направление связей, а также степень влияния факторов на изменение планируемого показателя.

Корреляционно-регрессионный анализ можно применять при условии предварительного выявления реальной причинной связи между факторами и рассматриваемым показателем. Для получения достоверных результатов в процессе исследования рассматриваются все систематически действующие существенные факторы. Выбор факторов базируется на следующих условиях:

- наличие связи между факторами (причинными признаками) и рассматриваемым показателем (результативным признаком);
- устойчивость и независимость действия отдельных факторов;
- возможность количественного измерения факторов;
- достаточность и достоверность исходных данных;
- постоянство дисперсии результативного показателя при изменении факторных (причинных) признаков;
- нормальное распределение признаков.

Корреляционно-регрессионный анализ играет важную роль в процессе разработки плана, он позволяет правильно расставить акценты, отбросить малозначимые факторы и учесть явления, оказывающие наиболее существенное влияние на исследуемый показатель.

В процессе анализа результатов финансово-хозяйственной деятельности ОАО «Томская судоходная компания» за период 2008-2012 гг. выявлено, что планирование в компании недостаточно эффективно (таблица 1). Так, в 2010 г. совокупное превышение фактических текущих расходов над плановыми составило 50%. В 2009 г. отклонение было незначительным, однако причиной такого результата стало уравновешивание необоснованно спланированных затрат на «оплату труда» и «топливо и энергия», имеющих разнонаправленные существенные отклонения от плана. В 2011-2012 гг. процент превышения фактических расходов был несколько меньше по сравнению с 2010 г. (25% – в 2011 г., 9% – в 2012 г.), однако, в абсолютном выражении перерасход значителен (170 млн. руб. – в 2011 г. и 128 млн. руб. – в 2012 г.).

Наибольшее превышение фактических показателей над плановыми значениями было по статьям: «затраты на оплату труда» (51% в 2008 г., 77% в 2012 г., 36% в 2011 г.) и «топ-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ливо и энергия» (28 % в 2010 г., 25% в 2012 г.). При этом доля затрат на оплату труда в общих расходах снизилась с 32,8% в 2008 г. до 24,5% в 2012 г. (на 8,3%), а удельный вес затрат на топливо и энергию увеличился на 14,5% (с 22,7% в 2008 г. до 36,2% в 2012 г.).

Таблица 1 – Анализ выполнения плана расходов по статьям затрат в ОАО «Томская судоходная компания» за период 2008-2012 гг.

Статья затрат	2008 г.		2009 г.		2010 г.		2011 г.		2012 г.	
	ОВ, %	АО, тыс. руб.								
Затраты на оплату труда	151	85991	132	42577	177	106094	136	72398	107	26982
Отчисления на социальные нужды	124	10896	108	2960	149	17882	137	21932	113	13780
Топливо и энергия	96	-6625	66	-42657	128	28050	99	-2601	125	116104
Материалы	110	1802	36	-11876	287	12368	91	-2015	121	5728
Износ МБИ	118	460	70	-801	157	1118	141	1099	78	-1520
Амортизация	134	3776	128	3941	98	-277	98	-400	93	-1145
Затраты на ремонт	79	-31540	111	9267	202	56263	127	29779	110	16753
Аренда судов	101	159	78	-4167	137	6075	137	9225	123	22597
Прочие расходы	172	47692	81	-15539	82	-11406	178	36205	69	-70434
Налоги, сборы, платежи	149	1434	262	3495	209	3365	283	4508	80	-898

Обозначения: ОВ-относительное выполнение; АО-абсолютное отклонение

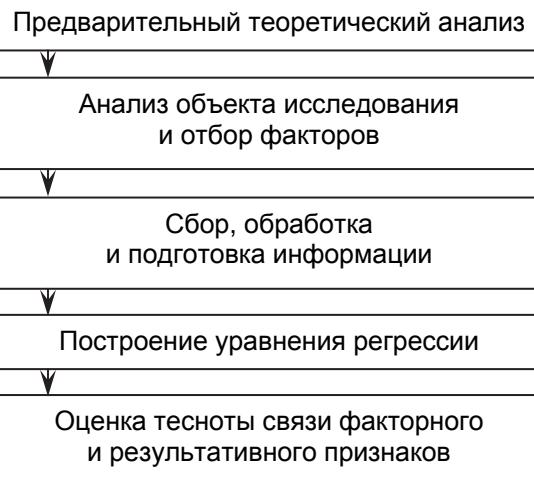
Выявленная устойчивая тенденция опережающего роста топливно-энергетических расходов свидетельствует о необходимости особого внимания к данной статье затрат, а также о важности адекватного планирования расходов на топливо и поиска путей экономии. В связи с этим, автором выполнен корреляционно-регрессионный анализ и исследованы факторы, влияющие на затраты на топливо. На рисунке 1 представлены основные этапы анализа.

На первом этапе (предварительном) была уточнена задача исследования. Основным топливом емким видом деятельности в Томской судоходной компании являются перевозки. Доля пассажирских перевозок незначительна, поэтому объектом исследования был выбран процесс формирования затрат на топливо на грузовых перевозках и установлена возможность наличия факторно-обусловленной связи в данном процессе.

Важнейшим вопросом второго этапа является выявление факторных признаков. Не всегда при проведении корреляционно-регрессионного анализа связи между установленными причинными факторами и результативным показателем оказываются существенными. Для предварительной оценки тесноты связи каждого фактора с результативным показателем используется дисперсия, а также критерии проверки статистических гипотез. В качестве причинных факторов рассматривались: средняя цена топлива, объем перевезенного груза, суточный расход топлива по судам, совокупная мощность двигателей судов, используемых в навигацию, продолжительность эксплуатационного периода.

На этапе сбора, обработки и подготовки информации были рассмотрены функциональные зависимости расходов на топливо на грузовых перевозках и обработаны отчеты о деятельности ОАО «Томская судоходная компания» за 2007-2012 гг. [1, 2] с целью определения значений причинных и результативного факторов, необходимых для проведения корреляционно-регрессионного анализа.

Затраты на топливо (Z_t) находятся в прямой зависимости от цены топлива, используемого на перевозках, и определяются как произведение средневзвешенной цены топлива и совокупного расхода топлива за навигацию, либо по конкретным данным договоров поставки



топлива, исходя из указанной в каждом договоре цены, и количества потребленного флотом топлива, приобретенного по данной цене.

$$\mathcal{E}_T = \bar{C}_{cp} O = \sum_{i=1}^n (O_i C_i), \quad (1)$$

где \bar{C}_{cp} – средневзвешенная цена топлива, руб./т;

O – общее количество потребленного в навигацию топлива, т;

O_i – потребленное топливо, приобретенное по i -му договору поставки, т;

C_i – цена топлива по i -му договору поставки, руб./т.

Общий расход топлива на перевозках в навигацию зависят от среднесуточного потребления топлива и продолжительности эксплуатационного периода. На суточный расход топлива влияет множество факторов: скоростной режим движения судов, организация работы флота, технические характеристики судовых двигателей и, в первую очередь, мощность главных двигателей и удельный расход топлива в расчете на единицу мощности. В конечном итоге, расход топлива на перевозках (O) непосредственно связан со среднесуточным расходом топлива каждой единицей флота и продолжительностью времени нахождения судов в эксплуатации

$$O = \sum_{k=1}^m O_{k,cym} T_{kz}, \quad (2)$$

где $O_{k,cym}$ – среднесуточный расход топлива по k -му судну, т;

T_{kz} – период эксплуатации k -го судна, сут.

Расход топлива за навигацию может быть определен также исходя из количества топлива, потребленного в среднем за рейс, и количества рейсов, выполненных каждым судном.

В таблице 2 приведены значения рассматриваемых причинных и результирующих факторов, которые были определены в процессе обработки отчетных данных судоходной компании.

Таблица 2 – Значения причинных и результирующих факторов

Фактор	Год					
	2007	2008	2009	2010	2011	2012
Затраты на топливо y , тыс. руб.	120 113	175 550	83 813	129 276	192 701	588 351
Средняя цена 1 т топлива x_1 , руб.	15 400	23 984	15 953	17 816	23 907	29 293
Объем перевезенного груза x_2 , т	4 291 500	4 839 000	3 256 700	3 332 456	4 079 728	5 341 206
Суточный расход ГСМ x_3 , т	36	30	28	30	30	82
Эксплуатационный период x_4 , сутки	178	186	201	179	206	187

Подготовленная информация соответствует требованиям корреляционно-регрессионного анализа: сравнимость, достоверность, нормальность распределения признаков, однородность, достаточность и др. Недостоверная информация, несравнимая, разнородная на последующих этапах анализа не рассматривалась.

Для построения уравнения регрессии (4 этап анализа) важно определиться с типом зависимости результирующего признака от факторного. Основой механизма связи признаков является тип аналитической функции. Однако даже при криволинейной функции и когда форма связи не выявлена, рекомендуется для проведения корреляционно-регрессионного анализа предполагать наличие прямолинейной зависимости.

Автором были построены модели связи причинных и результирующих факторов, указанных в таблице 2. На рисунке 2 показаны линии регрессии и уравнения прямых, описывающие корреляционные связи затрат на топливо, соответственно, в зависимости от средней цены 1 т топлива, объема грузовых перевозок, среднесуточного расхода топлива и продолжительности эксплуатационного периода.

Уравнение регрессии по форме схоже с уравнением функциональной зависимости, однако отличается от него по существу, так как описывает имеющуюся корреляционную связь и, следовательно, справедливо для определенной совокупности факторов. Коэффициенты уравнения регрессии зависят от объема совокупности, в данном случае от расчетного периода (6 лет). Чем больше период, тем типичнее параметры уравнения.

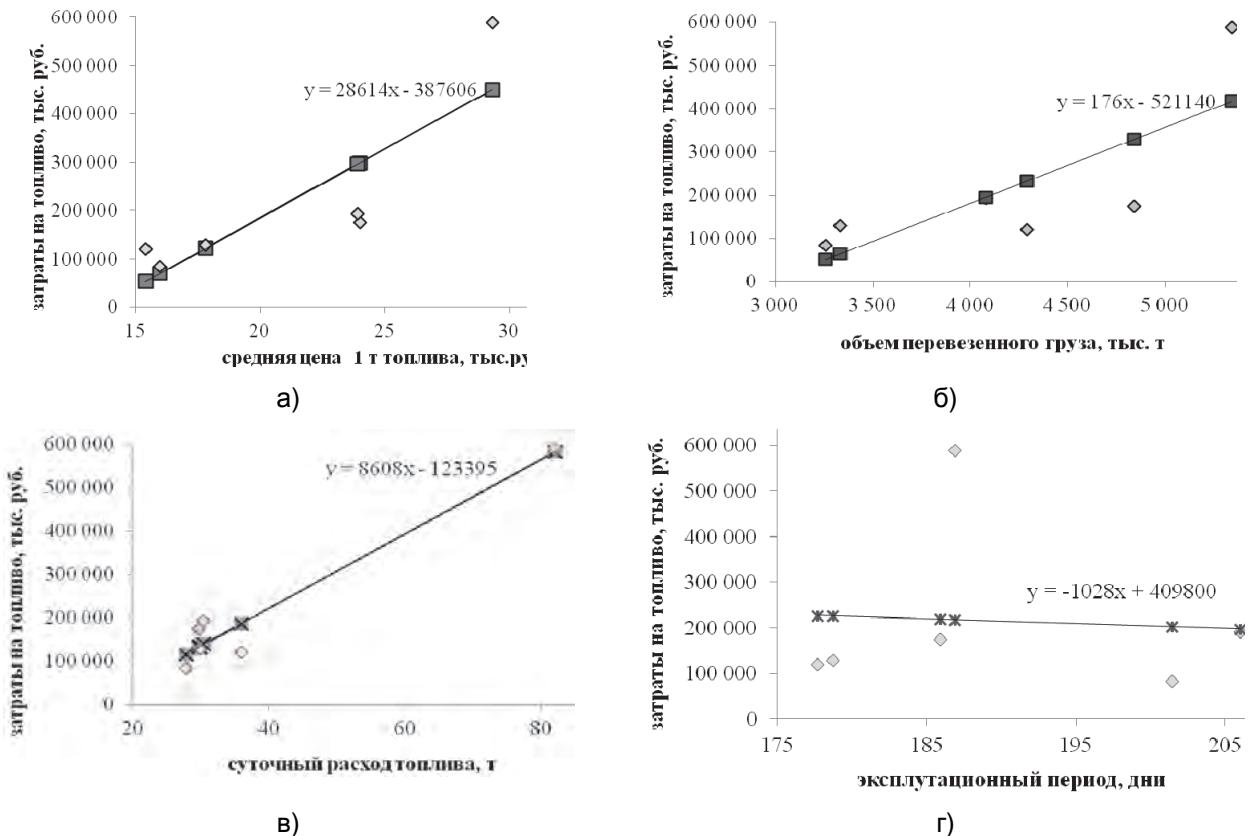


Рисунок 2 – Зависимость и уравнение регрессии затрат на топливо ОАО «ТСК» за период 2007-2012 гг. от: а)-средней цены 1т топлива; б)-объема перевезенного груза; в)-суточного расхода топлива; г)-эксплуатационного периода; ◊-затраты на топливо; □-предсказанные затраты на топливо

На заключительном 5 этапе анализа определяются коэффициенты корреляции. Это важный и необходимый этап, так как уравнения регрессии, описывая имеющиеся связи, не характеризует степень зависимости рассматриваемых факторов.

При «прямолинейной» связи между переменными x (причинный фактор) и y (результативный показатель) для измерения степени зависимости используется коэффициент корреляции Пирсона (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - n \bar{x} \bar{y}}{\sqrt{\left(\sum_{i=1}^n x_i^2 - n \bar{x}^2 \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2 \right)}}, \quad (3)$$

где x_i, y_i – измеряемые переменные;

\bar{x}, \bar{y} – средние значения указанных переменных.

Для целостного представления расчет коэффициента корреляции по всем рассматриваемым факторам проводился в табличной форме.

Ниже представлен порядок расчета тесноты корреляционной зависимости затрат на топливо от средней цены топлива и объема перевозок (расчетный период 6 лет, таблица 3 и таблица 4).

Линейный коэффициент корреляции может принимать любые значения в интервале (-1, +1). Чем ближе коэффициент корреляции по абсолютной величине к 1, тем теснее связь между признаками.

Проведенное исследование показало, что наиболее значимыми факторами, влияющими на затраты на топливо, являются суточный расход топлива на перевозках, а также средняя цена топлива.

Чтобы распространить выводы по результатам расчетов на всю генеральную совокупность, была сделана оценка существенности полученных коэффициентов корреляции по критерию Стьюдента с ($n-2$) степенями свободы (таблица 5).

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица 3 – Расчет коэффициента корреляции r при факторе «Средняя цена топлива»

Год	Элементы расчета коэффициента корреляции					
	x	y	xy	x^2	y^2	r
2007	15,40	120113,00	1849740,20	237,16	14427132769,00	
2008	23,98	175550,00	4210391,20	575,23	30817802500,00	
2009	15,95	83813,00	1337068,79	254,50	7024618969,00	
2010	17,82	129276,00	2303181,22	317,41	16712284176,00	
2011	23,91	192701,00	4606825,73	571,53	37133675401,00	
2012	29,29	588351,00	17234565,84	858,08	346156899201,00	
Итого	126,35	1289804,00	31541772,97	2813,91	452272413016,00	0,8463

Таблица 4 – Расчет коэффициента корреляции r при факторе «Объем перевезенного груза»

Год	Элементы расчета коэффициента корреляции					
	x	y	xy	x^2	y^2	r
2007	4 291,50	120 113,00	515 464 939,50	18 416 972,25	14 427 132 769,00	
2008	4 839,00	175 550,00	849 486 450,00	23 415 921,00	30 817 802 500,00	
2009	3 256,70	83 813,00	272 953 797,10	10 606 094,89	7 024 618 969,00	
2010	3 332,46	129 276,00	430 806 610,30	11 105 264,46	16 712 284 176,00	
2011	4 079,73	192 701,00	786 167 730,85	16 644 183,33	37 133 675 401,00	
2012	5 341,21	588 351,00	3 142 503 767,75	28 528 479,29	346 156 899 201,00	
Итого	25 140,59	1 289 804,00	5 997 383 295,50	108 716 915,22	452 272 413 016,00	0,7715

Так, для корреляционной зависимости средней цены и затрат на топливо ($r = 0,8463$) $t_{расч}$ равно

$$t_{расч} = 0,8463 \sqrt{\frac{(6-2)}{(1-0,8483^2)}} = 3,177 .$$

Для числа степеней свободы $n-2=4$ и уровня значимости 5% значение t -критерия составляет 2,776, то есть $t_{расч} > t$ -критерия, и, значит, с вероятностью 95% можно утверждать, что действительно существует прямая зависимость между данным причинным фактором и расходами на топливо.

Анализ существенности полученных коэффициентов показал, что коэффициенты корреляции, рассчитанные по средней цене топлива и суточному расходу топлива, как причинным факторам, отвечают указанному утверждению.

Таблица 5 – Оценка существенности полученных коэффициентов корреляции

Причинный фактор	Коэффициент корреляции, r	$t_{расч}$	t -критерий Стьюдента с ($n-2$) степенями свободы
Средняя цена топлива, руб./т	0,8463	3,177	2,776
Объем перевезенного груза, тыс. т	0,7715	2,425	2,776
Суточный расход топлива, т	0,9704	8,041	2,776
Эксплуатационный период, сут.	-0,0645	-0,134	2,776

Полученные модели корреляционной зависимости (уравнения регрессии) и оценка тестоты связи имеют важное практическое значение, так как, выявив наиболее значимые причинные признаки и зная теоретическую зависимость между ними и результирующим фактором, можно рассчитать, спрогнозировать с достаточно высокой степенью вероятности ожидаемое значение показателя в плановом периоде.

Среди рассмотренных причинных факторов, существенно влияющих на топливную составляющую расходов, лишь средняя цена топлива является неопределенной, подверженной изменению под влиянием внешних факторов. Учитывая это, Томской судоходной компании, с целью повышения эффективности планирования расходов, необходимо уделять особое внимание обоснованию ожидаемого уровня цен на топливо.

Корреляционно-регрессионный анализ рекомендуется также использовать для выявления и исследования факторов, влияющих на другие статьи текущих расходов, а также на себестоимость перевозок в целом. Это улучшит качество планирования расходов. Кроме того, предложенный метод дает возможность обосновать рекомендации по экономии затрат в плановом периоде, что позволит повысить эффективность деятельности компании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Отчеты по эксплуатационной работе ОАО «Томская судоходная компания» за 2007-2012 год.

2 Отчеты компании ОАО «Томская судоходная компания», 2007-2012 годы [Электронный ресурс]. -Режим доступа:
<http://tsc.tomsk.ru/node/44>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: корреляционный анализ, расходы на топливо, факторы, эксплуатационные расходы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ятчук Крестина Васильевна, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

СТРУКТУРА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В АСПЕКТЕ ТЕРМИНАЛИСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ РОССИИ)

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.Д. Покровская, Е.Д. Псеровская

STRUCTURE OF THE LOGISTIC CENTER IN THE TERMINALISTICS'S ASPECT (ON THE EXAMPLE OF COAL TERMINALS OF RUSSIA)

Siberian state transport university

O.D. Pokrovskaya, E.D. Pserovskaya

The modular-integrated structure of the logistic center within a terminalistics as new scientific direction is considered.

Keywords: terminalistics, logistics of terminal networks, terminal network, logistic center, modular-integrated structure

Рассмотрена модульно-интегрированная структура логистического центра в рамках терминалитики как нового научного направления.

Актуальность новых методологических исследований работы и структуры логистических центров определяется недостаточной полнотой и комплексностью существующих исследований. В современной транспортной науке до сих пор не развиты интегрированные направления, задачами которых являлось бы комплексное изучение таких логистических образований, как терминалные сети, с детализацией работы их узловых элементов – логистических центров.

Решить указанную задачу позволяет изучение особенностей проектирования и функциональной структуры логистических центров в рамках единого интегрированного направления – терминалитики [1, 5].

Для транспортной отрасли терминалитика может предложить комплексное решение задачи снижения затрат на перевозку за счет организации работы логистических центров в составе терминалных сетей таким образом, чтобы обеспечить: рациональный выбор вида транспорта, управление грузопотоками с использованием терминалной технологии, реализацию сквозного транспортно-логистического сервиса. Это достигается построением эффективной функционально-технологической структуры логистических центров.

Терминалитика – логистика терминалных сетей – наука об организации, проектировании, управлении, структуре и конфигурации сетей грузовых терминалов, включая вопросы количества и дислокации узлов, функционально-технологического состава, прогнозной и экспертной оценки, а также транспортную, инфраструктурную, интеграционную, экономическую и экологическую составляющие работы региональных терминалных сетей (рисунок 1).

Для реализации колоссального транспортного потенциала России требуется, прежде всего, развитие транспортно-логистической инфраструктуры страны. В основе этой инфраструктуры лежит терминалная сеть.

Терминалная сеть – интегрированная грузопроводящая мезологистическая система; совокупность взаимодействующих и централизованно управляемых узлов (логистических центров), обеспечивающая межрегиональную интеграцию и выходы на транспортные коридоры страны.

Логистический центр (ЛЦ) – мультимодальный транспортный узел, представляющий собой комплекс сооружений и технических устройств, организационно и технологически взаимоувязанных и предназначенных для выполнения множества логистических операций [6].

Модульно-интегрированная структура ЛЦ – это совокупность функционально-технологических направлений сервиса, оказываемого ЛЦ (рисунок 2).

Графическая модульно-интегрированная структура ЛЦ по модулям M₁-M₈ на рисунке 3.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

МЕЖДИСЦИПЛИНАРНЫЕ СВЯЗИ ТЕРМИНАЛИСТИКИ

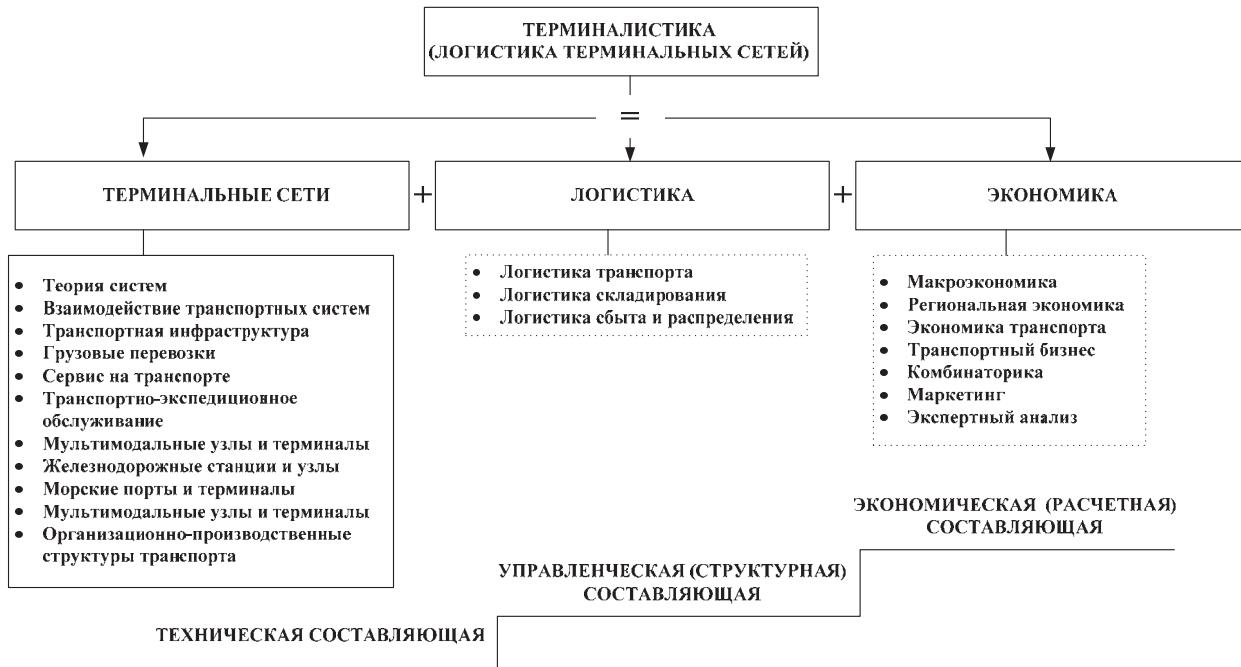


Рисунок 1 – Взаимосвязи терминалитики с другими науками [1]



Рисунок 2 – Функциональные направления сервиса, предоставляемого ЛЦ

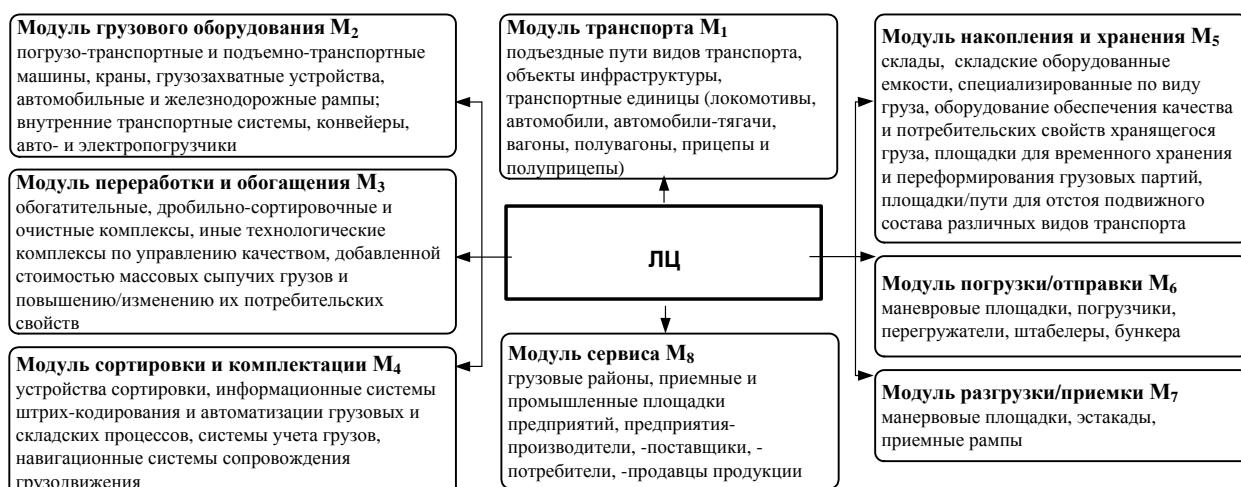


Рисунок 3 – Модульно-интегрированная структура ЛЦ

Как многофункциональный транспортно-экспедиционный оператор, организованный на принципах модульности, ЛЦ способен покрыть весь спектр логистических услуг, используя политранспортную доставку. Такая концентрация складских, коммерческих, грузовых, технологических ресурсов способствует эффективному, оперативному взаимодействию всех участников процесса перевозки [5].

Адаптация модульно-интегрированной структуры к ЛЦ России по данным официальных сайтов компаний [2-4;6-7].

– ООО «Восточно-Уральский терминал»: M₁ – транспорта – морские, автомобильные и железнодорожные пути, автоматизированная конвейерная линия; M₂ – грузового оборудования – мобильные перегружатели, вагоноопрокидыватели, судопогрузочные машины, автопогрузчики, бульдозеры; M₃ – переработки и обогащения – очистка каменного угля магнитными сепараторами и многоступенчатыми решетками перед подачей на транспорт; M₄ – сортировки и комплектации – дробильно-сортировочные машины, вибраторы; M₅ – накопления и хранения – крытый склад – 12 тыс. м³, 3 склада – 105 тыс. т, 2 открытые площадки – 250 тыс. т; M₆, M₇ – погрузки/отправки, разгрузки/приемки – маневровые площадки, эстакады, рампы, причальный фронт – по технологии Центральная пересыпная станция-склад-судно; M₈ – сервиса – перевозка грузов; транспортная обработка грузов; эксплуатация портов; прием и обработка вагонов-хопперов и вагонов с 14 т биг-бэгами; ответственное хранение с предоставлением складской площади; информационное обеспечение; пакетирование.

– Ванинский балкерный терминал: M₁ – транспорта – морские, автомобильные и железнодорожные пути, конвейерная линия; M₂ – грузового оборудования – мобильные перегружатели, вагоноопрокидыватели, судопогрузочные машины, автопогрузчики, бульдозеры; M₃ – переработки и обогащения – мало данных; M₄ – сортировки и комплектации – дробильно-сортировочные машины, грохот, дробильно-сортировочный комплекс, пересыпная станция, вибраторы; M₅ – накопления и хранения – склад временного хранения угля объемом 1 млн. т с непрерывной загрузкой транспорта; M₆, M₇ – погрузки/отправки, разгрузки/приемки – маневровые площадки, эстакады, рампы, причальный фронт – по двум автоматическим технологическим линиям с вагоноопрокидывателями; M₈ – сервиса-стивидорные, погрузочно-разгрузочные и сопутствующие транспортно-экспедиционные услуги, ответственное хранение.

– Угольный терминал Усть-Луга: M₁ – транспорта – морские, автомобильные и железнодорожные пути, конвейерная линия; M₂ – грузового оборудования – мобильные перегружатели, вагоноопрокидыватели, судопогрузочные машины, автопогрузчики, бульдозеры, рекламиеры, стакер; M₃ – переработки и обогащения – высокоавтоматизированный процесс перевалки угля с железнодорожного на морской транспорт, осуществляются очистка угля от посторонних включений и дробление до необходимых клиентам фракций, а также непрерывный отбор проб угля непосредственно перед погрузкой; M₄ – сортировки и комплектации – дробильно-сортировочные машины, вибраторы; M₅ – накопления и хранения – открытые и закрытые склады; M₆, M₇ – погрузки/отправки, разгрузки/приемки – маневровые площадки, эстакады, рампы, причальный фронт; M₈ – сервиса – погрузочно-разгрузочные услуги, транспортно-экспедиторским обслуживание, услуги перевалки, таможенного оформления.

– Угольный терминал ППК-3 (порт Восточный): M₁ – транспорта – морские, автомобильные и ж.д. пути, конвейерная линия; M₂ – грузового оборудования – мобильные перегружатели, вагоноопрокидыватели, судопогрузочные машины, порталные краны, вагоноразмежеватели, автопогрузчики, бульдозеры. Грейферная перевалка угля. Автоматизированная система управления перегрузкой; M₃ – переработки и обогащения – мало данных; M₄ – сортировки и комплектации – дробильно-сортировочные машины, вибраторы, бурорыхлительная машина, четыре размораживающих устройства; M₅ – накопления и хранения – 4 склада общей емкостью 600 тыс. т для хранения 25 различных марок углей. Общая площадь складов составляет: открытых – 80 тыс. м², крытых – 3 тыс. м²; M₆, M₇ – погрузки/отправки, разгрузки/приемки – маневровые площадки, эстакады, рампы, причальный фронт – по технологии вагоноопрокидывания и ленточных конвейеров для погрузки угля с вагонов на судно и склад; M₈ – сервиса – предоставление складских площадей открытого и крытого хранения; погрузочно-разгрузочные работы, перетарка груза.

– Универсальный ППК-1 (порт Восточный): M₁ – транспорта – морские, автомобильные и железнодорожные пути, конвейерная линия; M₂ – грузового оборудования – универсальный производственно-перегрузочный комплекс, мобильные перегружатели, краны-манипуляторы, гидравлические манипуляторы, стакер, порталные краны, вагоноопрокиды-

ватели, судопогрузочные машины, автопогрузчики, бульдозеры. Грейферная перевалка угля; M_3 – переработки и обогащения – мало данных; M_4 – сортировки и комплектации– шесть дробильно-сортировочных комплексов с системой штабелирования, включая дробильно-сортировочные машины, вибраторы; M_5 – накопления и хранения– площадь открытых складов составляет 181 тыс. м²; M_6 , M_7 – погрузки/отправки, разгрузки/приемки– маневровые площадки, эстакады, рампы, причальный фронт; M_8 – сервиса– предоставление складских площадей открытого и крытого хранения; погружно-разгрузочные работы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Pokrovskaya, O.D. Terminalistics as a new methodology for the study of transport and logistics systems of the regions. Sustainable economic development of regions. Vol. 3: monograph / O.D. Pokrovskaya; ed. by L. Shlossman. -Vienna: «East West» Assoc. for Advanced Studies and Higher Education GmbH, 2014. -261 p.
- 2 Восточно-Уральский Терминал [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.trans-port.ru/ru/vut>. -14.09.2014.
- 3 Восточный порт – начало Транссибирской магистрали [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.vpnet.ru/rus/about/ppk1.htm>. -14.09.2014.
- 4 Компания Усть-Луга: терминалы [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.ust-luga.ru/activity/?s=terminals>. -14.09.2014.
- 5 Покровская, О.Д. Терминалистика как новое научное направление / О.Д. Покровская // Путь науки = The Way of Science: intern. sci. j. -2014. -№3(3). -С. 21-24.
- 6 Проект: Ванинский балкерный терминал [Электронный ресурс]. -Режим доступа: http://pskplant.com/object_006.html. -14.09.2014.
- 7 Угольный производственно-перегрузочный комплекс ППК-3 [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.vpnet.ru/rus/about/ppk3.htm>. -14.09.2014.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: терминалистика, логистика терминалных сетей, терминальная сеть, логистический центр, модульно-интегрированная структура

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Покровская Оксана Дмитриевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Псировская Елена Дмитриевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ОСОБЕННОСТИ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.Д. Покровская

FEATURES OF FOREIGN EXPERIENCE OF CREATION OF CLUSTERS IN TRANSPORT LOGISTICS
Siberian state transport university

O.D. Pokrovskaya

Considered foreign experience in the formation of the transport and logistics clusters, financing, design, features its «starting».

Keywords: logistics, transport and logistics cluster, logistics hub, logistics village

Рассмотрен зарубежный опыт формирования транспортно-логистических кластеров, финансирование, проектирование, особенности «запуска».

В условиях усиления взаимодействия всех видов транспорта на цепи поставок и интеграции транспортных систем отдельных стран в единую мировую транспортную систему деятельность транспорта становится глобальной.

Поэтому сегодня кластерное развитие позиционируется как новый подход к формированию региональных транспортно-логистических систем и повышению конкурентоспособности как отдельного региона или отрасли, так и государства в целом [1].

В наиболее общем случае под кластером в современной экономической литературе понимается, также сеть поставщиков, производителей, потребителей, элементов промышленной инфраструктуры, исследовательских институтов, взаимосвязанных в процессе создания добавочной стоимости.

Мультиплекативный эффект кластеризации налицо: кластеры имеют свойство не замыкаться в своей отрасли, а распространяться на смежные. Яркий мировой пример: компьютеростроение в США подтянуло за собой производство программного обеспечения, микропроцессоров и т.д. Это, говорят эксперты, закономерный результат передачи по технологическим цепочкам преимуществ высокой конкурентоспособности от компании – родоначальницы кластера к ее предприятиям-смежникам [2].

Еще одним примером может быть кластер, который сформировался вокруг группы из

нескольких финских компаний, расположенных в радиусе 80 км друг от друга. Наличие развитой системы сопутствующего бизнеса (сервис, консультации и т.д.) позволяет существенно снизить затраты на создание новых компаний в рамках кластера и повысить конкурентоспособность уже существующих.

В связи с неразвитостью рынка логистических услуг Россия теряет ежегодно 50 млрд. долларов и 10% транзита. При этом скорость перемещения грузов от производителя до потребителя составляет примерно 10 км/час, что сопоставимо со скоростью гужевого транспорта. А по итогам 2012 г. скорость движения товарных поездов упала до 219 км/сутки или до 9,1 км/час [14]. Транспортная нагрузка на единицу ВВП в нашей стране в 4,6 раза выше, чем в США, при этом логистические издержки в цене товара составляют около 23-26%. Увеличив скорость движения в цепи поставок только на 1 км/час, можно высвободить до 11% единиц подвижного состава и удешевить цену товара на 10%.

Возрастающая конкуренция на рынке транспортных услуг требует уделять все больше внимания транспортно-логистическим проектам [3].

В рейтинге Всемирного банка по показателю эффективности логистики (Logistics Performance Index, LPI) в 2011 г. Российская Федерация заняла лишь 94-е место среди 155 стран. Однако предполагается, что к 2015 г. логистический рынок достигнет показателя в 151 млрд. долларов [4].

В многом это будет возможно за счет формирования мощной терминалной сети в составе транспортно-логистических кластеров.

В Концепции кластерной политики РФ с учетом отраслевой специфики выделены 5 типов кластеров, одним из них назван транспортно-логистический кластер.

Транспортно-логистические кластеры включают в себя комплекс инфраструктуры и компаний, специализирующихся на хранении, сопровождении и доставке грузов и пассажиров. Кластер может включать также организации, обслуживающие объекты портовой инфраструктуры, компании специализирующиеся на морских, речных, наземных, воздушных перевозках, логистические комплексы и другие. Транспортно-логистические кластеры развиваются в регионах, имеющих существенный транзитный потенциал.

Транспортно-логистический кластер – это межотраслевое добровольное объединение предпринимательских структур, транспортно-логистической инфраструктуры, общественных и других организаций, специализирующихся на перевозке грузов, хранении и грузопереработке, транспортно-экспедиционном, логистическом сервисном обслуживании и управлении товароматериальными и сопутствующими потоками, тесно сотрудничающих с научными, образовательными учреждениями, органами федеральной и региональной власти с целью повышения конкурентоспособности на отечественном и мировом рынке транспортно-логистических услуг [5].

В мире существуют два подхода к формированию кластеров: классический (не предполагает прямого государственного вмешательства и/или поддержки) и современный европейский (основан на партнерстве бизнеса, центральных и местных властей).

Транспортно-логистическое развитие является ключевым для любой страны. В июле 2006 г. Евросоюзом был одобрен и принят «Манифест кластеризации в странах ЕС», а в декабре 2007 г. одобрен и представлен к утверждению «Европейский кластерный Меморандум», который был окончательно утвержден 21 января 2008 г. в Стокгольме на Европейской президентской конференции по инновациям и кластерам.

Кластеры в сфере логистики есть во многих странах мира. Так, в Центральной и Восточной Европе действует около 25 основных и 60 второстепенных транспортно-логистических кластеров.

Например, созданный в 2003 г. транспортно-логистический кластер в Словении насчитывает в своем составе 13 компаний и 3 учреждения, которые занимаются экспедированием и доставкой грузов, предоставляют портовые услуги, разрабатывают образовательные программы и решают вопросы, связанные с загрязнением воздуха. Конечная цель кластера состоит в обеспечении благоприятных условий, которые позволяют участникам предоставлять комплексные транспортно-логистические услуги для достижения успеха на европейском рынке.

Морской кластер в Великобритании был создан в 2003 г., чтобы представлять и отстаивать интересы морской отрасли в Мерсисайде (графстве северо-западной Англии). Цель кластера - увеличить инвестиции в отрасль и повысить ее эффективность на местном, региональном, национальном и международном уровнях. Он функционирует в интересах

500 связанных с морской деятельностью компаний региона, среди которых судовладельцы, судостроительные компании, экспедиторы, портовые и складские операторы, транспортные и страховые компании. Годовой оборот кластера достигает 1,3 млрд. фунтов стерлингов [1].

Пример еще одного крупного британского проекта – город Milton Keynes (Великобритания), на территории которого расположен Magna Park. Девелопером проекта совместно с Land Securities является Gazeley. Комплекс включает в себя огромное количество распределительных центров, предлагающих арендаторам различные логистические операции, в том числе возможность обслуживания несколькими видами транспорта. Magna Park – один из самых масштабных проектов в мире и яркий пример хаба [6].

На основе кластерного подхода формируются так называемые «логистические хабы», логопарки, терминальные деревни.

Развитие логистических мегаобъектов – новая тенденция в транспортно-логистическом и торговом бизнесе, представляющая собой скопление логистических объектов разных собственников, которые появлялись и развивались благодаря росту товаропотоков в данном месте.

Сегодня такие логистические мегаобъекты создаются во всем мире, хотя идеология их функционирования и развития в основном та же, что была разработана при создании распределительного центра в Бремене в 1985 г., а логистические парки возникли и того раньше, в начале 1970-х, по федеральной программе Министерства транспорта Германии. На основе анализа грузопотоков были выбраны узлы транспортной сети для более удобного и выгодного во всех отношениях размещения логистических центров. Проектирование и строительство всех объектов проходило при содействии властей федеральных земель и отдельных городов.

В Германии распространена концентрация перегрузочных станций, перевозчиков различных видов транспорта в единый грузовой центр. Это идеально в экономическом и экологическом отношении и при взаимодействии грузовой компании или перевозчика с клиентом.

Создание логистического мегаобъекта включает массу всевозможных услуг, направленных главным образом на персонал (для сотрудников постоянного и переменного составов на территории деревни или рядом с ней могут быть построены офисы, гостиницы, кафе, магазины и даже жилье с объектами социальной инфраструктуры); грузы (их обрабатывают, размещают, хранят и организуют дальнейшую транспортировку); транспорт (возможно строительство дополнительных дорог, железнодорожных веток, заправочных станций, авторемонтных мастерских, парковок и т.п.).

Итак, преимущества от появления логистических деревень, по мнению экспертов, очевидны: происходит оптимизация складского процесса, он становится менее затратным по времени, а также способствует экономическому развитию того или иного региона.

Идея возникновения логистических деревень в России связана с решением властей о централизации обработки грузовых потоков. В нашей стране, отличающейся особенно крупными масштабами территорий, логистические деревни могут оказаться очень удобным форматом для развития бизнеса, в особенности это касается городов и областных центров, расположенных на пересечении или рядом с крупными транспортными узлами, где проходят грузовые потоки.

По мнению экспертов Knight Frank, появление логистических хабов в России – закономерная тенденция быстроразвивающегося рынка. Концепция таких проектов привлекательна для крупных инвесторов, девелоперов и арендаторов. Однако, по оценке специалистов, для реализации подобных проектов, требуется не только профессионализм, знание специфики и особенностей эксплуатации мультимодальных хабов, но и всесторонняя государственная поддержка. Российские компании только начинают приобщаться к этому процессу, ориентируясь на успешный опыт западных коллег [6].

Как показывает практика, кластеры значительно отличаются друг от друга. Объясняется это национальными особенностями экономики стран и регионов, поскольку каждый регион уникален по-своему и, следовательно, имеет свою определенную специализацию. Данные различия связаны как с территориальным расположением региональных кластеров, так и различной комбинацией детерминант «ромба Портера», составляющих основу конкурентоспособности кластеров.

Таким образом, формирование транспортно-логистических кластеров может стать эффективным инструментом повышения конкурентоспособности национальной экономики за счет минимизации расходов в сфере логистики.

Разработка научной методологии комплексной организации транспортно-логистических кластеров обеспечит достижение уровня развития транспортно-логистического сервиса, адекватного современным реалиям международного рынка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Философова, К.В. Международный опыт применения кластерного подхода [Электронный ресурс] / К.В. Философова // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Сер. Экономика и Право. -2012. -№4. -Режим доступа: <http://www.vipstd.ru/naukteh/index.php/ru/---ep12-04/476-a.-12.11.2014>.
- 2 Киселева, Марина. Аналитика [Электронный ресурс] / Марина Киселева. -Режим доступа: <http://www.vedom.ru/news/2013/09/11/10906-klasternyy.-12.11.2014>.
- 3 Комаров, К.Л. Системный подход к формированию и продвижению имиджа города Новосибирска / К.Л. Комаров. - Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2014. -136 с.
- 4 Всемирный банк понизил логистический рейтинг России [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.logistdv.ru/node/9480.-24.08.2014>.
- 5 Прокофьева, Т.А. Логистические центры в транспортной системе России: учеб. пособие / Т.А. Прокофьева, В.И. Сергеев. -М.: Экон. газета, 2012. -522 с.
- 6 Покровская, О.Д. Формирование терминальной сети региона для организации перевозок грузов / О.Д. Покровская. -М.: ТрансЛит, 2012. -192 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: логистика, транспортно-логистический кластер, логистический хаб, логистическая деревня

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Покровская Оксана Дмитриевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ

**ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»
ОАО «Новосибирскавтодор»**

В.С. Воробьев, К.В. Каталымова, Е.В. Луницина

PUBLIC-PRIVATE PARTNERSHIP AS THE METHODOLOGY OF A SYSTEMATIC APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF TRANSPORT INFRASTRUCTURE IN SOUTHERN YAKUTIA

Siberian state transport university
Novosibirskavtodor

V.S. Vorobjev, K.V. Katalimova, E.V. Lunitsyna

The development of transport infrastructure in southern Yakutia is an urgent problem of reducing people's discrimination in transport and integral condition for the development of natural resources. Economic strategy of the Russian Federation assumes its advanced development, providing economic growth of the region. Together with the accepted principles of budgeting and its use does not allow for targeted infrastructure development funding. It is necessary to attract private investment according to public-private partnership and efficiency assessment. The calculations of basic indicators confirm the ambiguity of approaches to public-private partnership.

Keywords: transport infrastructure, public-private partnership, funding resources, investment project, efficiency, rates

Развитие транспортной инфраструктуры Южной Якутии – актуальная проблема снижения дискриминации населения в транспортной доступности и неотъемлемое условие освоения природных ресурсов. Экономическая стратегия РФ предполагает ее опережающее развитие, обеспечивающее экономический рост региона. Вместе с тем принятые принципы формирования бюджета и его использования не позволяют осуществлять целевое финансирование развития инфраструктуры. Необходимо привлечение частных инвестиций на условиях государственно-частного партнерства и оценка эффективности. Выполнены расчеты основных показателей, подтвердивших неоднозначность подходов к государственно-частному партнерству.

Для Сибирского региона России с ее обширными территориями и относительно невысокой плотностью населения, сложными климатическими условиями крайне актуальной стала проблема поиска нетривиальных путей решения комплексного развития регионов.

Реальной альтернативой малоэффективных форм государственного управления является механизм государственно-частного партнерства (ГЧП). С его помощью полагают возможным решить проблему нехватки бюджетных ресурсов и повысить качество строительства и эксплуатации промышленных комплексов и инфраструктурных объектов, в том числе железных и автомобильных дорог. Исследованию ГЧП посвящено достаточно большое количество работ [1, 2]. Неизбежность использования ГЧП как способа внебюджетного финансирования развития общественной (в том числе муниципальной) инфраструктуры для уско-

рения экономического роста очевидна. Принятые принципы формирования бюджета и его использования не позволяют осуществлять целевое финансирование развития инфраструктуры, обеспечивающей экономический рост. Финансирование развития инфраструктуры, к которой относятся железные и автомобильные дороги, ограничено возможностями банков и Инвестиционного фонда РФ, в том числе рисками невыполнения государственных гарантий. Переход к методологии проектного управления и управления по результатам, программному бюджету, а также к проектному финансированию за счет внебюджетных источников позволит снять ряд трудностей по превращению бюджетных средств в инвестиционные ресурсы. Поэтому совершенствование экономических отношений государства и частного бизнеса при реализации региональных проектов является своевременной и актуальной проблемой. С позиций системного подхода с учетом опыта транспортной политики и развития транспортных систем Евросоюза, Америки и России [3-5] нами рассмотрен инвестиционный проект «Комплексное развитие Южной Якутии», в который включены следующие объекты: Канкунская ГЭС; Эльконский горно-металлургический комбинат; Южно-Якутское горно-металлургическое объединение; Селигдарский горно-химический комплекс; Инаглинский угольный комплекс; Якутский центр газодобычи; Электросетевая инфраструктура (ВЛ «Канкунская ГЭС-Нерюнгри» и подстанция «Нерюнгри», ВЛ «Канкунская ГЭС-Алдан» и подстанция «Алдан», электроснабжение Эльконского ГМК, Тарыннахского и Таежного ГОКов, Селигдарского ГХК, Инаглинского угольного комплекса).

Для реализации этих проектов необходимо создание транспортной сети, которая должна обеспечить перевозки строительных материалов, конструкций. От ее логистических показателей будут зависеть сроки реализации проектов.

В ходе реализации инвестиционного проекта «Комплексное развитие Южной Якутии» будут построены железные дороги общей протяженностью около 270 км. и автомобильные дороги протяженностью 150 км. Железные дороги: Томмот-Эльконский ГМК (53 км); Косаревский-Селигдарский ГМК (13 км); Таежная-Таежный ГОК (4 км); Чульбасс-Инаглинский угольный комплекс (11 км) с выходом этих дорог на Амуро-Якутскую магистраль; Икабекан-Тарыннахский ГОК (189 км) с выходом на Байкало-Амурскую магистраль. Автомобильные дороги: Томмот-Эльконский ГМК (44 км); Малый Нимныр-створ Канкунской ГЭС (106 км).

Инвестиционный проект «Комплексное развитие Южной Якутии» предусматривает следующую схему ГЧП: объекты плана государства – плотина Канкунской ГЭС, электросетевая инфраструктура, железные и автомобильные дороги; объекты плана бизнеса – приведенные выше предприятия. Государственные инвестиции планировались в сумме 114,49 млрд. руб., частные инвестиции – в сумме 307,98 млрд. руб. В сценарных условиях 2007 г. При этом индекс бюджетной эффективности (PIB) должен был составить 8,96; макроэкономической эффективности (PIGDP) – 4,1; внутренняя норма доходности (IRR0 для государства 17,4%; увеличение к 2020 г. Валового регионального продукта – в 2,5 раза. Реализация этого проекта позволила бы значительно увеличить грузовые потоки по БАМу, что снизило бы срок окупаемости инвестиций в его модернизацию. Вместе с тем известно, что срок окупаемости новых железнодорожных линий составляет 30-50 и более лет. ОАО РЖД как государственной корпорации (100% акций принадлежит государству) при действующих тарифах на железнодорожные перевозки инвестирование в новые дороги экономически невыгодно. Необходимы системные исследования взаимодействия государства и частного бизнеса с поиском механизмов ГЧП, удовлетворяющих заинтересованные стороны.

Нами в качестве детального анализа транспортной инфраструктуры Южной Якутии выполнена оценка инвестиционной эффективности. Рассмотрим подход к ее решению на примере железнодорожной линии Томмот-Эльконский ГМК. Потребность капиталовложений по этапам и годам строительства линии приведена в таблице 1, стоимость строительства 1 км железной дороги – в таблице 2.

В качестве исходных параметров для расчета стоимости перевозок приняты показатели платы за транзит. Они таковы: перевозятся грузы 2 тарифного класса (100%); вес груза в вагоне составляет 50 т; тип вагона - универсальная платформа. Для перевозки 1 млн. т грузов требуется 20 тыс. вагонов. Расчет тарифной платы за 1 вагон (И1+В1) в ценах 2013 г. приведен в таблице 3.

Расчет показателей экономической эффективности выполнен при разных нормах дисконта (0%, 10%, 15%), с целью анализа чувствительности проекта. Расчет проводился также по сроку выравнивания производственных мощностей комбинатов и перевозочной возможности каждой железной дороги. В качестве сценариев принят вывод на проектную мощность

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ГМК, соответственно: сценарий 1: 1,2; 3; 4, 5 тыс. т/год концентрата природного урана; сценарий 2: 1,5; 3; 5 тыс. т/год; сценарий 3: 2,5; 5 тыс. т/год. Приведем расчеты по первому сценарию (таблица 3, рисунок).

Таблица 1 – Результаты расчета потребности капиталовложений по этапам и годам строительства линий, млн. руб.

Этапы строительства	Стоимость строительства (Томмот-Эльконский ГМК)			
	1 год	2 год	3 год	Всего
РД	2044,87	3025,32	2030,99	7101,17
ВЭ		1873,60	1672,86	3546,47
ПК		2535,32	2263,68	4798,99
ПЭ		1059,56	946,04	2005,60
ИТОГО	2044,87	8493,80	6913,57	17452,23

Таблица 2 – Расчет стоимости строительства 1 км железной дороги, млн. руб.

Стоимость	Томмот-Эльконский ГМК (53 км)
Стоимость материалов	10471,34
Общая стоимость строительства дороги	17452,23
Стоимость строительства 1 км.	329,29

Таблица 3 – Доходы за перевозки по сценарию 1

Год ИП	Этап строительства	Расстояния, км	Объем перевозок, млн. т	Тарифная плата по схемеза 1 вагон (50 т), руб.		Доход за перевозку грузов (с учетом индекса тарифов), млн. руб.
				И1	В1	
2	ВЭ	28	0,001	2470	714	0,91
	ПК	28	0,001	2470	714	0,27
	ПЭ	28	0,001	2470	714	0,18
3	ВЭ	25	0,002	2409	711	1,78
	ПК	25	0,002	2409	711	0,53
	ПЭ	25	0,002	2409	711	0,36
4	ПЭ	53	0,003	2795	735	0,60
5	ПЭ	53	0,004	2795	735	0,81
6	ПЭ	53	0,005	2795	735	1,01

Аналогичные расчеты выполнены по всем сценариям. Особенностью этой дороги является крайне низкая обеспеченность грузовой работой. Ее вместе с автомобильной дорогой (44 км) следует отнести к категории социально значимых для Якутии дорог и не планировать бюджетную и коммерческую эффективность.

Предложенная методика оценки реализации проекта развития сети дорог:

- Выполнить оценку социально-экономической и коммерческой эффективности проекта. Если инвестиционный проект (ИП) по критериям оценки социально-экономической эффективности не удовлетворителен, то это означает, что участие Государства в этом проекте не целесообразно. Если проект в целом реализуем, то Государство может поддержать частное инвестирование, если частный сектор находит его положительным.

- Провести оценку финансовой эффективности ИП. Оценка должна показать возможность реализации проекта за счет собственных средств инвестора (инвесторов). Этот этап должен дать ответ на целесообразность дальнейшей проработки проекта.

- Оценить эффективность ИП для инвесторов и финансовых организаций, а также акционерного капитала в случае применения финансового рычага. Если проект неэффективен, но реализуем, то следует рассмотреть вариант его частичной поддержки Государством.

- Выполнить оценку эффективности ИП для инвесторов, финансовых организаций и Го-

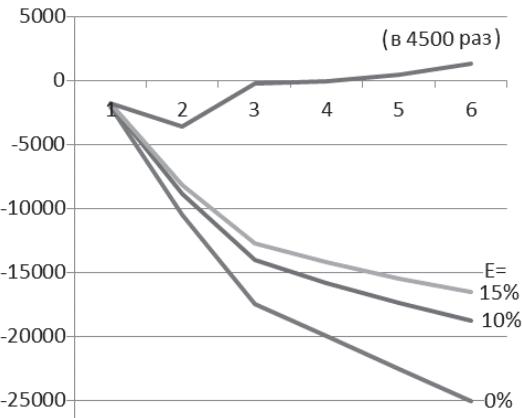


Рисунок – Чистый дисконтированный доход нарастающим итогом, сценарий 1

сударства в случае государственной поддержки и при применении финансового рычага. Для оценки выгоды Государства следует оценить бюджетную эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Каталымова, К.В. Совершенствование экономических отношений государства и частного бизнеса при реализации региональных проектов развития автомобильных дорог: автореф. дис. ... канд. экон. наук / К.В. Каталымова. -Новосибирск, 2014.
- 2 Дементьев, А.П. К методике оценки социальной значимости и эффективности инвестиционных проектов автомобильных дорог в экономике региона / А.П. Дементьев, К.В. Каталымова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. - №2. -С. 89-93.
- 3 Верескун, В.Д. Новые доминанты, приоритеты и направления развития транспортной политики в мировой экономике: Евросоюз / В.Д. Верескун, В.С. Воробьев // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. -2007. -№2. -С. 77-80.
- 4 Верескун, В.Д. Основные тенденции в развитии транспортной системы и транспортная политика Северной Америки / В.Д. Верескун, В.С. Воробьев // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. -2007. -№3. -С. 67-71.
- 5 Колесников, В.И. Модернизация транспортной системы России и перспективы развития железнодорожного транспорта / В.И. Колесников, В.Д. Верескун, В.С. Воробьев // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщения. -2008. -№2. -С. 76-84.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная инфраструктура, государственно-частное партнерство, бюджетные ресурсы, инвестиционный проект, эффективность, тарифы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воробьев Валерий Степанович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Каталымова Ксения Валерьевна, канд. экон. наук, директор по корпоративно-правовой работе ОАО «Новосибирскавтодор»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Луцинина Екатерина Вадимовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»
630099, г.Новосибирск, ул.Каменская, 19, ОАО «Новосибирскавтодор»

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ШПАЛ

Горновский завод спецжелезобетона, филиал ОАО «БэтЭлТранс»
ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Д.В. Величко, Н.Н. Горбунов

EFFICIENCY MODERNIZATION OF TECHNOLOGICAL LINES FOR THE MANUFACTURE OF SLEEPERS

Gornovsky branch of BetElTrans
Siberian state transport university
D.V. Velichko, N.N. Gorbunov

The article presents the comparative analysis of efficiency of modern technological lines for manufacturing of concrete sleepers, existing at the enterprises of JSC « BetElTrans ». Also the comparison of indicators of technological efficiency of the modernized mogilev production line and a new Italian line «Olmi». For both compared technological lines detail the issues of technology, manpower requirements, grading of products, marriage in the production process, etc. Commissioning of new production lines, "Olmi" for the production of concrete sleepers with a new scheme of reinforcement, compared with the existing upgraded Mogilyov production lines 2012, showed high efficiency.

Keywords: railway track, concrete sleepers, sleepers production, production line, line «Olmi», technological efficiency

Представлен анализ сравнительной эффективности современных технологических линий по изготавлению железобетонных шпал, действующих на предприятиях ОАО «БэтЭлТранс». Приведены результаты оценки эффективности мероприятий по глубокой модернизации существующих отечественных (могилевских) технологических линий (1999 г. и 2012 г.). Также выполнено сравнение показателей технологической эффективности работы модернизированной могилевской технологической линии 2012 г. и новой итальянской линии «Olmi». Для обеих сравниваемых технологических линий подробно рассматриваются вопросы технологии, потребности в рабочей силе, сортности продукции, брака при производстве продукции.

Технологические линии по изготавлению железобетонных шпал представляет собой комплекс оборудования, обеспечивающий выполнение технологических операций начиная от заготовки арматуры и заканчивая испытанием и штабелированием.

На примере лидирующего по объему производства Горновского завода – филиала ОАО «БэтЭлТранс» [1] выделяются три этапа модернизации производственных мощностей изготавления железобетонных шпал:

- в 2000 г. запуск новой могилевской технологической линии;
- к 2012 г. выполнена внутренняя пошаговая модернизация могилевских технологических линий;
- в 2010 г. запуск итальянской технологической линии «Olmi».

Введенная на заводах ОАО «БэтЭлТранс» в 2010 г. итальянская линия «Olmi» запроек-

тирована на выпуск шпал, с новой схемой армирования (таблица 1) – Ш-ЗД 4×10, кроме того эти линии внедряются под изготовление шпал как со скреплением АРС так и ЖБР-65 ШД [2].

Характеристика этапов техпроцесса изготовления железобетонных шпал для всех 3 технологических линий приведены в таблице 2 и рисунке 1.

Таблица 1 – Техническая характеристика технологических линий

Показатель	Технологические линии	
	Могилевская	Olmi
Производительность линии, тыс. шт./год	250	500
Количество пропарочных камер, шт.	8	9
Количество форм при пропаривании в камере, шт.	14	48
Количество шпал в форме, шт.	10	4
Особенности армирования	44 струны, Ø3 мм	4 стержня, Ø9,6 мм
Количество виброплощадок, шт.	2	2
Мощность технологического оборудования, кВт	2807	873
Масса формы, т	4,15	1,5
Рекомендуемый размер цеха, м	192×24	144×24

Таблица 2 – Сравнение трудоемкости технологических процессов, минут

Этапы техпроцесса	Могилевская линия		линия Olmi
	1999 г.	2012 г.	
1 Чистка и смазка форм	12,10	7,04	0,50
2 Изготовление проволочных пакетов и установка их форму	9,42	7,04	0,55
3 Установка и крепление закладных деталей (дюбелей)	14,82	7,04	0,60
4 Натяжение проволочных пакетов	8,15	7,04	1,40
5 Укладка и виброуплотнение бетонной смеси	10,33	8,08	1,10
6 Извлечение формооснастки, доводка подошвы шпал	13,39	7,04	–
7 Мойка формооснастки	7,04	7,04	–
8 Передача предварительных напряжений на бетон	13,25	7,04	0,83
9 Кантование форм, подготовка плетей к распиловке	7,04	7,04	1,49
10 Распиловка плетей шпал	7,04	7,04	–
11 Штабелировка шпал	7,04	7,04	0,68
12 Перемещение грузов по пролету	7,04	7,04	7,04
Всего на изготовление одной формы	116,66	85,52	14,20

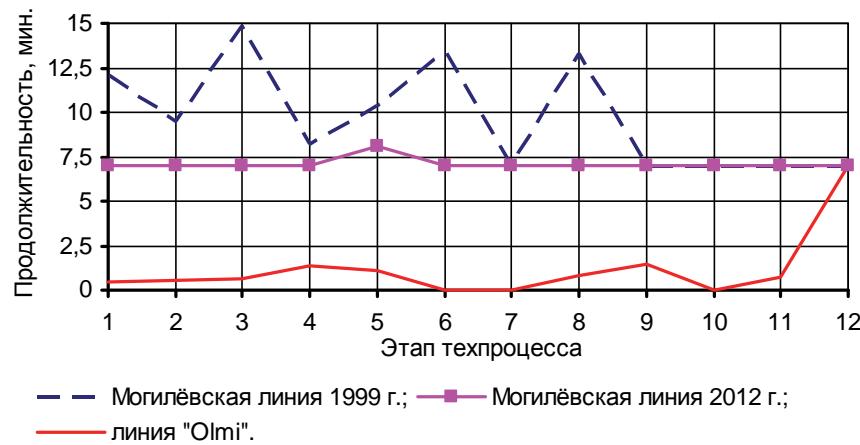


Рисунок 1 – Продолжительность технологических этапов

В течение всего периода эксплуатации могилевской технологической линии на Горновском заводе проводились постоянные совершенствования технологии. В таблице 3 представлена эффективность модернизационных мероприятий по совершенствованию могилевской технологической линии 2012 г. в сравнении с 1999 г.

В результате модернизации могилевской технологической линии, снижение трудоемкости изготовления шпал составило 107,94 чел. мин. или 37%. Более того, в связи с применением усовершенствованием технологии, время на пропаривание форм (выдержка, набор

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

температуры, охлаждение) уменьшено на 60 мин., что уменьшает на 10% общую продолжительность пропаривания.

Таблица 3 – Эффективность модернизационных мероприятий по совершенствованию могилевской технологической линии

Номер этапа техпроцесса	Снижение трудоемкости этапа, чел. мин.	Доля эффекта от мероприятия, %
1	10,12	42
2	9,51	25
3	16,30	52
4	2,22	14
5	4,49	22
6	52,88	79
8	10,0	47
9	2,42	22

Оценка эффективности технологических этапов линии «Olmi» в сравнении с модернизированной могилевской линией (2012 г.) представлена в таблице 4.

Таблица 4 – Эффективность технологической линии «Olmi»

Номер этапа техпроцесса	Снижение трудоемкости этапа, чел. мин.	Доля эффекта от мероприятия, %
1	13,14	93
2	26,51	94
3	26,96	96
4	11,21	80
5	14,06	87
6	14,08	100
7	14,08	100
8	13,25	94
9	5,55	79
10	7,04	100
11	6,36	90
12	7,04	33

Сравнение показателей эффективности работы итальянской технологической линии «Olmi» показало снижение трудоемкости изготовления шпал – 159,28 чел. мин. или 86%.

Время на пропаривание форм на линии «Olmi» и на модернизированной могилевской линии равны 10 и 9,5 часов соответственно.

Трудоемкость, продолжительность изготовления одной формы при обходе каждой операции, без учета времени пропаривания сведены в таблицу 5.

Удельная продолжительность изготовления 1 шпалы (без пропаривания):

- могилевская линия (1999 г.) 11,67 мин./шп.;
- могилевская линия (2012 г.) 8,55 мин./шп.;
- итальянской линии «Olmi» 3,55 мин./шп.

Удельная продолжительность изготовления 1 шпалы (с пропариванием):

- могилевская линия (1999 г.) 15,74 мин./шп.;
- могилевская линия (2012 г.) 12,62 мин./шп.;
- итальянской линии «Olmi» 6,68 мин./шп.

Таблица 5 Параметры оборачиваемости одной формы

Технологическая линия	Продолжительность, мин.	Трудоемкость, чел. мин.	Количество шпал в форме, шт.	Состав звена, чел.
Могилевская линия (1999 г.)	116,66	293,07	10	28
Могилевская линия (2012 г.)	85,525	185,13	10	26
Итальянская линия «Olmi»	14,186	25,856	4	22

Одной из основной характеристикой отражающей эффективность работы технологических линий является анализ качества (1 сорт, 2 сорт, брак) изготовления шпалной продукции (таблица 6).

Независимо от вида технологической линии, практически для всех основных типов шпал общая доля несоответствующей продукции колеблется в пределах – 0,02-0,06%. В 2013 г.

наилучшие показатели имеют шпалы Ш3-Д 4×10 изготавливаемые по уже отработанной технологии «Olmi» – 0,025 % несоответствия продукции, в тоже время Ш1 – 0,046 %; Ш3 – 0,043 %.

Таблица 6 – Доля брака железобетонных шпал

Тип шпал	Технологиче- ская линия	2012 г.		2013 г.	
		изготовлено, тыс. шт.	доля брака, %	изготовлено, тыс. шт.	доля брака, %
Ш1	могилевская (модерниза- ция 2012 г.)	36,3	0,04	28,2	0,05
Ш3		158,5	0,05	13,9	0,04
Ш3-Д		1182,7	0,05	1375,2	0,04
Ш3-Д 4×10	«Olmi»	484,4	0,06	425,3	0,02

Шпалы Ш3-Д 4×10, изготавливаемые на линии «Olmi», в отличие от шпал Ш3-Д, изготовленных на могилевской линии, характеризуются значительно меньшим числом дефектов по околу упорной кромки шпалы – в 10,3 раза. Однако, по дефектам недонатяжения и проскальзования струн, заглубления шайбы (дюбеля) имеются недостатки.

На рисунке 2 представлены данные об изменении доли шпал 1 сорта, с учетом начала широкомасштабного производства с 2010 г. шпал типа Ш3 и Ш3-Д 4×10.

Прослеживается четкая динамика роста шпал 1 сорта продукции технологической линии «Olmi» с 2011 г., что связано с применяемыми мерами и отработкой технологии – на 0,20% до 99,97% в 2013 г.

Ввод в эксплуатацию новых технологических линий «Olmi» по производству железобетонных шпал с новой схемой армирования позволил:

- уменьшить трудоемкость изготовления на 86%, уменьшении количества обслуживающего персонала на 15%, уменьшить удельную продолжительность изготовления одной шпалы примерно в 2 раза и значительно повысить производительность изготовления шпал;
- снизить материалоемкость шпал и улучшить условия труда, особенно по уровню шума и исключению тяжелых ручных операций;
- уменьшить число дефектов шпал и увеличить сортность;
- ввести автоматизированный контроль качества изделий;
- обеспечить выпуск железобетонных шпал с улучшенной структурой бетона и геометрической точностью под современные рельсовые скрепления.

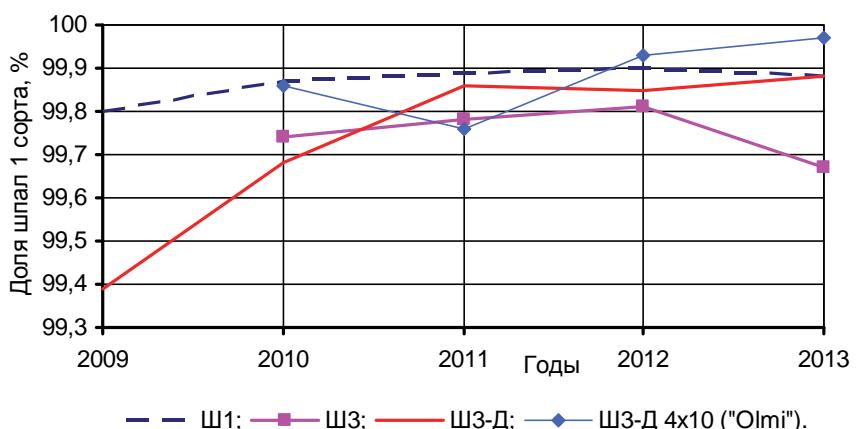


Рисунок 2 – Показатели сортности шпал

1 Горбунов, Н.Н. Адаптация производства железобетонных шпал современным требованиям / Н.Н. Горбунов, Д.В. Величко // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2014. -№3. -С. 71-74.

2 Карпушенко, Н.И. Обеспечение надёжности железнодорожного пути и безопасности движения поездов: монография / Н.И. Карпушенко, Д.В. Величко. -Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2008. -321 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный путь, железобетонная шпала, производство шпал, технологическая линия, линия «Olmi», технологическая эффективность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Величко Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Горбунов Николай Николаевич, главный инженер Горновский завод специалезобетона, филиал ОАО «БэтЭлТранс»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»
633411, Новосибирская область, Тогучинский район, пос.Горный, Горновский завод специалезобетона, филиал ОАО «БэтЭлТранс»

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ИКАБЬЕКАН-ТАРЫННАХСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.В. Луницына

THE IKABEKAN-TARYNNAKHSKY MINING AND CONCENTRATION COMPLEX RAILWAY CONSTRUCTION AND MAINTENANCE ASSESSMENT
Siberian state transport university
E.V. Lunitsyna

Options of deliveries of material resources for construction of the Ikab'ekan-Tarynnakhsky mining and concentration complex railway were described, the cost of 1 km of railway was determined, the assessment of the freight revenue of mining and concentration complex's production according to the three ways of driving up to the rated capacity was given, the assessment of the net present value and payback period of investments was given, the conclusion of methods and models of public-private partnership's development was made.

Keywords: transport infrastructure, highway, cost, transportation costs, net present value, payback period

Исследованы варианты поставок материальных ресурсов для строительства железнодорожной линии Икабьекан-Тарыннахский ГОК, определена стоимость 1 км. дороги, дана оценка доходов от перевозки продукции ГОК по трем сценариям его вывода на проектную мощность, дана оценка чистого дисконтированного дохода и срока окупаемости инвестиций, сделан вывод о необходимости развития методов и моделей государственно-частного партнерства.

Актуальность освоения природных ресурсов Южной Якутии, строительства горно-металлургических и обогатительных комбинатов определена Стратегией развития региона. Системообразующим звеном ее реализации является инфраструктура сухопутного транспорта: железных и автомобильных дорог. Задача создания современной транспортной инфраструктуры региона с выходом на Транссибирскую, Байкало-Амурскую и Амуро-Якутскую магистрали в условиях дефицита бюджетных ресурсов требует научного обоснования и многовариантной проработки. В этой связи нами выполнены исследования по оценке экономической эффективности инвестиций, как в отдельные железнодорожные линии, так и в дорожный комплекс в целом.

Приведем исследования по оценке экономической эффективности железнодорожной линии Икабьекан-Тарыннахский ГОК, протяженностью 189 км. В своих исследованиях мы опирались на нормативную литературу [1, 2], согласно которой установлен перечень необходимых материалов, состоящий из 55 наименований. Учитывая их разную значимость и объем, требуемый на строительство 1 км линии, мы выбрали 10 основных определяющих материалов для сооружения земляного полотна и верхнего строения пути. Объем потребления на 1 млн. руб. сметной стоимости определен по [3]. Приведение к ценам 2013 г. выполнено по данным объектов – аналогов БАМ как наиболее близким по местоположению, природно-климатическим и геокриологическим условиям [4]. В ценах 1984 г. стоимость 1 км БАМ составила 3,09 млн. руб. Таким образом, в ценах 1984 г. стоимость железнодорожной линии Икабьекан – Тарыннахский ГОК составил $3,09 \cdot 189 = 584,01$ млн. руб. Эти данные позволили перейти к расчету норм расхода материалов на 1 км. В современных экономических условиях при отсутствии централизованной системы снабжения важной составляющей ценообразования является стоимость материалов при наличии достаточно большого числа поставщиков. Нами определена география поставщиков принятых за основу материалов. Для принятия решения о выборе поставщика необходимо учесть транспортные расходы. Учитывая, что заводы-поставщики имеют свои подъездные железнодорожные пути или факт включения в стоимость продукции доставки автомобильным транспортом мы рассчитывали транспортные затраты по железнодорожным тарифам [5] в информационной системе «Расчет железнодорожного тарифа», поддерживаемая разработчиком и учитывающая индексацию тарифов (последняя индексация проведена на «0» часов 01.01.2014 г.).

Нами выполнены расчёты по всем видам материалов и приведены в стоимости транспортных расходов в таблице 1.

При этом решалась транспортная задача минимизации транспортных расходов с помощью программного обеспечения [6].

Для обеспечения поэтапного ввода дороги в эксплуатацию воспользуемся определени-

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

ем пусковых комплексов и «стандартом», принятым в проектах организации строительства (ПОС) ряда железных дорог Сибири [7]. В качестве источника информации мы воспользовались структурой сводной сметы по видам работ и этапам строительства в виде рабочего движения (РД), временной эксплуатации (ВЭ), пускового комплекса (ПК) и постоянной эксплуатации (ПЭ).

Таблица 1 – Оптимальные поставщики материалов (Икабьекан-Тарыннахский ГОК)

Наименование материала	Поставщик	Стоимость, млн. руб.
Арматура, т	Магнитогорский металлургический комбинат г. Магнитогорск	4211,53
Трубы для строительных конструкций, т	Череповецкий трубопрокатный завод, г. Череповец	18,35
Рельсы ж/д широкой колеи, т	Новокузнецкий металлургический комбинат	7295,55
Переводы стрелочные широкой колеи, комплект	Новосибирский стрелочный завод	372,52
Цемент, т	Кузнецкий цементный завод	1962,97
Шпалы ж/б, т	Желдор Пром, Муром	349,27
Пиломатериалы, т	Томич, Томск	1206,59
Кирпич, тыс. шт.	Ревдинский кирпичный завод	541,78
Щебень, т	Сахавнешинформ, Якутск	10729,46
Песок, т	Промдорспецстрой, г.Чита	1712,93
	Итого	28400,95

Затраты на материалы и транспортные расходы в общей стоимости составляют до 60%. Исходя из этого, нами определена стоимость 1 км железной дороги (таблица 2).

В зависимости от длины железнодорожной линии, директивных сроков строительства выбирают один из следующих методов организации: комплексно-поточный, участково-параллельный, комбинированный.

Таблица 2 – Расчет стоимости строительства 1 км железной дороги, млн. руб.

Стоимость	Икабьекан-Тарыннахский ГОК (189 км)
Стоимость материалов	28400,95
Общая стоимость строительства дороги	47334,92
Стоимость строительства 1 км	250,45

Для линии Икабьекан-Тарыннахский ГОК принят поточный метод строительства с одинаковыми покилометровыми объемами работ. Нами выполнены расчеты по этапам строительства стоимости 1 км по каждому виду работ, объемы по годам строительства и полная стоимость Результаты расчета потребности капиталовложений по этапам и годам строительства линий приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Стоимость строительства по этапам, млн. руб.

Этапы строительства	Стоимость строительства (Икабьекан-Тарыннахский ГОК)				
	1 год	2 год	3 год	4 год	всего
РД	4909,64	6688,72	7661,83	–	19260,19
ВЭ	–	5089,38	4529,54	–	9618,92
ПК	–	3344,45	4889,60	4782,05	13016,09
ПЭ	–	1575,80	1517,43	2346,49	5439,71
ИТОГО	4909,64	16698,34	18598,40	7128,53	47334,92

Для оценки показателей экономической эффективности капиталовложений в данную линию необходимо провести расчет доходов от перевозок по ней грузов, в качестве которых, в первую очередь, выступает продукция горно-обогатительного комбината. Обычно рассчитываются объемы перевозок местного значения и с выходом на БАМ. По сути, эти перевозки повышают загруженность магистрали, что способствует снижению сроков окупаемости инвестиций в модернизацию Байкало-Амурской магистрали. В качестве базовых тарифов на перевозки мы использовали Прейскурант №10-01 [5, 6]. Объемы перевозок определены по трем сценариям запуска ГОК. Эти данные позволили рассчитать чистый дисконтированный доход от деятельности железнодорожной линии при норме дисконтирования 0%, 10%, 15% при действующих тарифах с учетом их повышения на этапах ВЭ в 5 раз, ПК в 1,5 раза. Пер-

вый сценарий предусматривает постепенный ввод мощностей Тарыннахского ГОК с наращиванием объемов перевозок в течение восьми лет по одному миллиону тонн (рисунок 1).

Второй сценарий предусматривает выход на проектную мощность ГОК при производстве 1, 3, 5, 6, 8 млн. т/год (рисунок 2).

Третий сценарий предусматривает ввод мощности ГОК за 4 года в 2, 5, 6, 8 млн. т/год (рисунок 3).

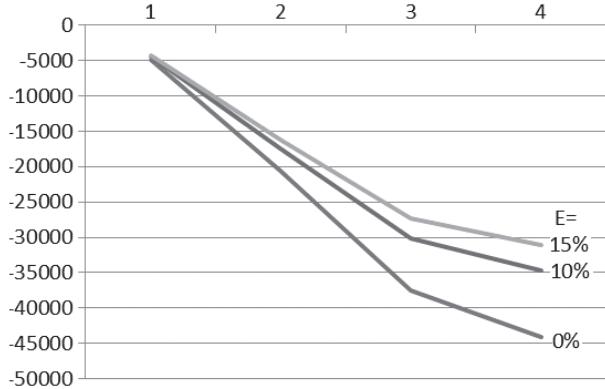


Рисунок 1 – Чистый дисконтированный доход по 1-му сценарию вывода ГОК на проектную мощность

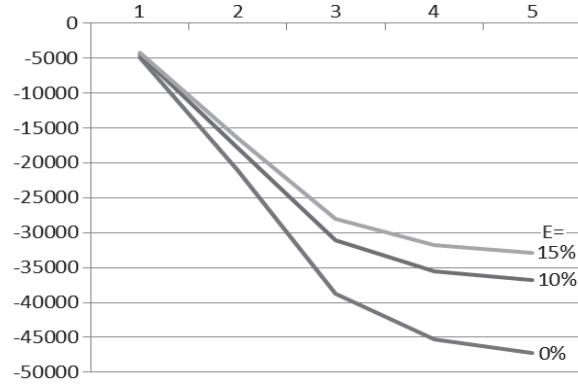


Рисунок 2 – Чистый дисконтированный доход по 2-му сценарию вывода ГОК на проектную мощность

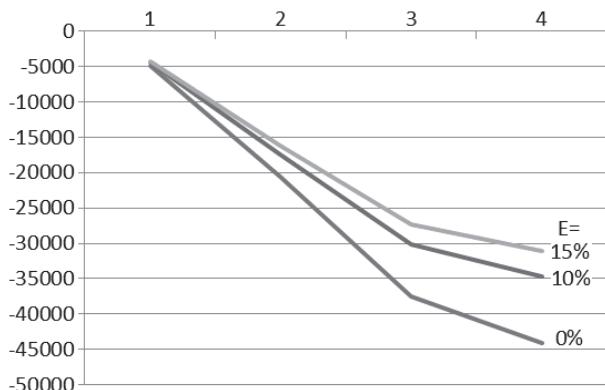


Рисунок 3 – Чистый дисконтированный доход по 3-му сценарию вывода ГОК на проектную мощность

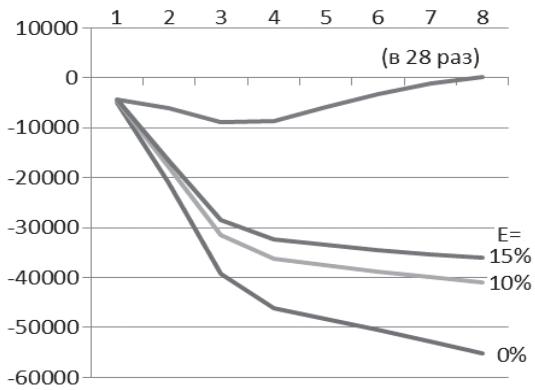


Рисунок 4 – Чистый дисконтированный доход при увеличении тарифов 28 раз (1 сценарий, срок окупаемости по 1-му сценарию составит 8 лет)

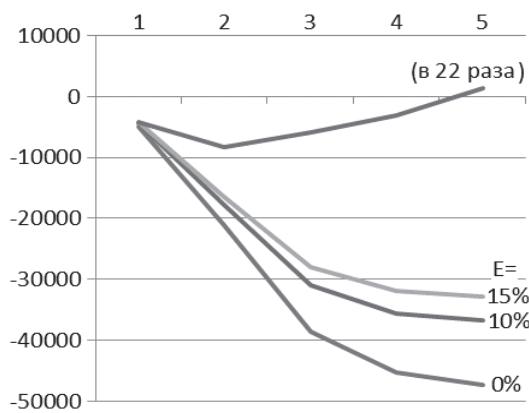


Рисунок 5 – Чистый дисконтируемый доход при увеличении тарифов в 22 раза (2 сценария, срок окупаемости по 2-му сценарию составит 5 лет)

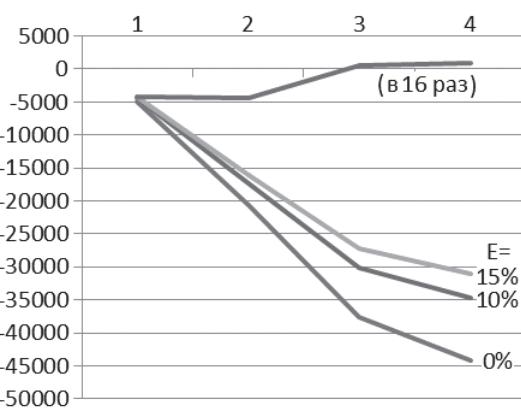


Рисунок 6 – Чистый дисконтируемый доход при увеличении тарифов в 16 раз (3 сценария, срок окупаемости по 3-му сценарию составит 4 года) – очевидно, что такое увеличение тарифов нереально

Сравнение сценариев показывает преимущество последнего, то есть ускорение ввода в эксплуатацию ГОК позволяет увеличить грузоперевозки по железной дороге и увеличить ее

доходность. Однако полная окупаемость составляет достаточно большой срок и частные инвестиции в этот проект становятся проблематичными из-за отдаленности их возврата и получения прибыли. Поэтому мы поставили задачу определения тарифов грузовых перевозок, позволяющих инвестору получать приемлемую для него прибыль в обозримый срок эксплуатации дороги (рисунки 4-6).

С целью обеспечения эффективности транспортной инфраструктуры при освоении природных ресурсов Южной Якутии необходим системный подход к комплексу объектов, предусмотренных комплексной Программой развития региона и развитие методов и моделей государственно-частного партнерства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СНиП 5.01.17-85. Нормы расхода материалов, изделий и труб на 1 млн. руб. сметной стоимости строительно-монтажных работ по объектам железнодорожного, воздушного, морского, автомобильного транспорта, строительства автомобильных дорог и метрополитена: утв. Гос. ком. СССР по делам стр-ва и Гос. план. Ком. СССР от 29.12.85 г. № 268/294. -Введ. в действие 01-06-1986. -89 с.

2 Байкало-Амурская железнодорожная магистраль. Технический отчет об изысканиях, проектировании и строительстве 1974-1989 гг. В 5 ч. Ч.1. Изыскания и проектирование (по техническому проекту) / ред. части Е.В. Басин. -М., 1990. -348 с.

3 Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1. Ч.I. (Правила применения тарифов): утв. Федер. энергет. Комис. Рос. Федерации № 47-т/5 от 17.06.03. -Изд. офиц. -М.: Красн. пролетарий, 2003. -151 с.

4 Прейскурант № 10-01. Тарифы на перевозки грузов и услуги инфраструктуры, выполняемые российскими железными дорогами. Тарифное руководство №1. Ч.II. (Расчетные таблицы плат за перевозку грузов): утв. Федер. энергет. Комис. Рос. Федерации №47-т/5 от 17.06.03. -Изд. офиц. -М.: Красн. пролетарий, 2003. -451 с.

5 Прокофьева, Т.А. Логистика транспортно-распределительных систем: Региональный аспект / Т.А. Прокофьева, О.М. Лопаткин. -М.: Консульт., 2003. -400 с.: ил.

6 Свидетельство об отраслевой регистрации разработки №7461 «Программного комплекта решения линейных и нелинейных задач математического программирования «ОПТИМА» / С.М. Кузнецов, Н.А. Сироткин, А.И. Круглов.

7 Методические рекомендации по проектированию оптимальной транспортной схемы строительства железной дороги с применением математических методов и ЭВМ. -М.: ЦНИИС, 1981. -47 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная инфраструктура, магистраль, стоимость, транспортные расходы, чистый дисконтированный доход, срок окупаемости

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Луницина Екатерина Вадимовна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ ХОЛДИНГЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

О.А. Мурзина

THE ECONOMIC RATIONALE FOR THE FUNCTIONAL CONTENT MANAGEMENT SUBSYSTEM IN THE TRANSPORT HOLDING
Siberian state transport university
O.A. Murzina

The article is devoted to the improvement of organizational structure of management. The relevance of this article is that currently for cost management in large corporations the formation of the accounting and analytical support, as well as the development of evidence-based recommendations for the assessment of economic efficiency.

Keywords: management, functional-cost, analysis, method, economic feasibility, solutions, costs, efficiency, structure

Вопросы совершенствования организационной структуры управления. Актуальность данной статьи состоит в том, что в настоящее время для управления издержками в крупных корпорациях необходимо формирование методического и учетно-аналитического обеспечения, а также разработка обоснованных рекомендаций по оценке экономической эффективности.

Современный рынок транспортных услуг функционирует в условиях сильной конкуренции, что диктует необходимость постоянного развития и совершенствования всех его участников. Для перспективного развития хозяйственного комплекса крупной транспортной компании принципиально важным является правильный подбор системы управления, которая должна обеспечивать эффективное управление с учетом изменений в его хозяйственном комплексе. Для этого проводится работа по улучшению всех составляющих системы: организационно-функциональной структуры управления (группировки функций и разграничения сфер ответственности), процессов управления, управленических показателей (контрольных показателей и показателей эффективности), системы управленической отчетности (планирование, учет, контроль и анализ), а также внедрению новых и совершенствованию применяе-

мых инструментов управления.

В настоящее время ведется формирование новой системы управления холдинга «Российские железные дороги», направленное на повышение эффективности его работы. Для качественного управления издержками и исключения рисков хозяйствующих субъектов представляется необходимым формирование методического и учетно-аналитического обеспечения управления организацией и разработка обоснованных рекомендаций по оценке экономической эффективности.

Одним из инструментов совершенствования организационной структуры управления является функционально-стоимостный анализ (ФСА). Информация, полученная в ходе ФСА, показывает, как можно перераспределить ресурсы с максимальной стратегической выгодой, помогает выявлять возможности тех факторов (качество, обслуживание, снижение стоимости, уменьшение трудоемкости), которые имеют наибольшее значение, а также определить лучшие варианты капиталовложений. Развитием ФСА стал метод управленческого функционально-стоимостного анализа. Управленческий ФСА – это метод, который включает управление издержками на основе более точного отнесения затрат на функции. При этом управленческий ФСА позволяет не только определять издержки, но и управлять ими [1].

В качестве объекта для проведения управленческого ФСА выбрана бухгалтерская служба на уровне регионального управления, которая является структурным подразделением объединенного центра обслуживания (ОЦО).

На основании анализа структурно-элементной модели составлена классификация функций, которая представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Классификация функций ОЦО

№ п/п	Наименование функции			Виды функции	Затраты на выполнение функции в месяц, руб.
	глагол	существительное	дополнение		
	Работать	с документами	предприятия	ГФСС	
	Обеспечивать	информацией	предприятия	ГФОЦО	4276975
1.	Организовывать	места	обработки документов	О	189402
1.1.	Координировать	работу	трудовых ресурсов	В	69259
1.2.	Создавать	места	для работы	В	72123
1.3.	Организовывать	обучение	кадров	В	36015
1.4.	Разрабатывать	систему	мотивации	В	12005
2.	Принимать	документы	предприятия	О	287290
2.1.	Консультировать	по оформлению	документов	В	69700
2.2.	Контролировать	сроки	поступления	В	92100
2.3.	Запрашивать	документы	для подтверждения	В	60290
2.4.	Возвращать	документы	на переоформление	В	65200
3.	Проверять	документы	предприятия	О	452995
3.1.	Проверять	правильность	оформления	В	165970
3.2.	Проверять	полноту	информации	В	108370
3.3.	Проверять	достоверность	информации	В	108370
3.4.	Запрашивать	информацию	дополнительную	В	70285
4.	Создавать	архив	документов	О	87100
4.1.	Регистрировать	документы	предприятия	В	21900
4.2.	Систематизировать	документы	предприятия	В	27800
4.3.	Определять	место	хранения	В	27000
4.4.	Устанавливать	сроки	хранения	В	10400
5.	Вводить	данные	в системы	О	569778
5.1.	Выбирать	систему	для ввода	В	208057
5.2.	Присваивать	коды	информации	В	361721
6.	Анализировать	информацию	ввода	О	490508
6.1.	Проверять	информацию	электронную с реальной	В	150100
6.2.	Проверять	работу	систем	В	138000
6.3.	Проверять	выполнение	законодательства	В	100100
6.4.	Проверять	выполнение	стандартов	В	102308

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Продолжение таблицы 1

№ п/п	Наименование функции			Виды функции	Затраты на выполнение функции в месяц, руб.
	глагол	существительное	дополнение		
7.	Корректировать	информацию	ввода	О	375650
7.1.	Составлять	запросы	по ошибкам	В	100350
7.2.	Запрашивать	информацию	дополнительную	В	175200
7.3.	Вносить	исправления	в системы	В	100100
8.	Инвентаризировать	данные	предприятия	О	96100
8.1.	Составлять	документы	инвентаризации	В	22500
8.2.	Оформлять	результаты	инвентаризации	В	19400
8.3.	Осуществлять	проведение	инвентаризации	В	54200
9.	Формировать	отчетность	предприятия	О	901744
9.1.	Составлять	отчетность	предприятия	В	491844
9.2.	Выявлять	ошибки	при формировании	В	110300
9.3.	Составлять	запросы	по ошибкам	В	100000
9.4.	Корректировать	формы	отчетные	В	110800
9.5.	Контролировать	сроки	отчетности	В	88800
10.	Анализировать	отчетность	предприятия	О	362499
10.1.	Проверять	соответствие	законодательству	В	120833
10.2.	Проверять	соответствие	стандартам	В	120833
10.3.	Проверять	соответствие	методологии	В	120833
11.	Предоставлять	отчетность	по требованию	О	463909
11.1.	Подготавливать	информацию	для руководства	В	88500
11.2.	Подготавливать	информацию	для аудита	В	100150
11.3.	Подготавливать	информацию	для пользователей	В	38379
11.4.	Взаимодействовать	с органами	проверяющими	В	79650
11.5.	Обеспечивать	взаимодействие	с фондами и налоговыми органами	В	73371
11.6.	Обеспечивать	уплату сборов и налогов	предоставления отчетности	В	55219
11.7.	Планировать	налоги и сборы	предприятия	В	28640

Обозначения: ГФСС-главная функция смежной системы; ГФОЦО-главная функция объединенного центра обслуживания

Затраты на реализацию основных функций определяются экспертыным путем.

С помощью метода расстановки приоритетов определена степень значимости функций бухгалтерии в баллах [2].

Результаты попарного сравнения значимости функций централизованной бухгалтерии приведены в таблице 2, а расчет значимости функций в таблице 3 [2].

Таблица 2 – Результаты попарного сравнения функций ОЦО

Функции	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	1,0	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	1,0
2	1,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5
3	1,5	1,5	1,0	1,5	0,5	1,0	1,0	1,5	0,5	1,0	1,0
4	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5
5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0
6	1,5	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0
7	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	0,5	1,0	1,0
8	1,0	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5
9	1,5	1,5	1,5	1,5	1,0	1,0	1,5	1,5	1,0	1,0	1,0
10	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
11	1,0	1,5	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0	1,5	1,0	1,0	1,0

Диаграмма функционально-стоимостного анализа позволяет визуально выделить затраты, которые не сбалансированы со значимостью соответствующих функций. Затраты по функциям «принимать документы предприятия» (2), «проверять документы предприятия» (3), «корректировать информацию ввода» (7) выше их значимости. Следующей частью анализа будет пересмотр расходов по функциям бухгалтерии.

Сбалансированность расходов происходит при их соответствии значимости функций.

Таблица 3 – Расчет значимости функций ОЦО

$P(0)$	$Pn(0)$	$P(1)$	$Pn(1)$	$P(2)$	$Pn(2)$	$P(3)$	$Pn(3)$	$P(4)$	$Pn(4)$
8,5	0,070	1,43	0,127	0,76	0,071	0,74	0,071	0,75	0,071
9,0	0,074	0,77	0,068	0,81	0,076	0,77	0,073	0,77	0,073
12,0	0,099	1,02	0,091	1,05	0,098	1,02	0,097	1,02	0,097
7,5	0,062	0,64	0,057	0,66	0,061	0,64	0,060	0,63	0,060
13,5	0,112	1,19	0,106	1,20	0,112	1,19	0,112	1,18	0,112
13,0	0,107	1,14	0,101	1,16	0,108	1,14	0,108	1,13	0,108
11,5	0,095	1,01	0,090	1,00	0,094	1,01	0,095	1,00	0,095
8,0	0,066	0,68	0,061	0,70	0,066	0,68	0,065	0,68	0,065
14,0	0,116	1,23	0,110	1,25	0,116	1,23	0,117	1,23	0,117
11,5	0,095	1,03	0,092	1,03	0,096	1,03	0,098	1,03	0,098
12,5	0,103	1,10	0,098	1,09	0,102	1,10	0,104	1,10	0,104
121,0	1,000	11,23	1,000	10,71	1,000	10,55	1,000	10,53	1,000

Функционально-стоимостная диаграмма основных функций представлена на рисунке 1.

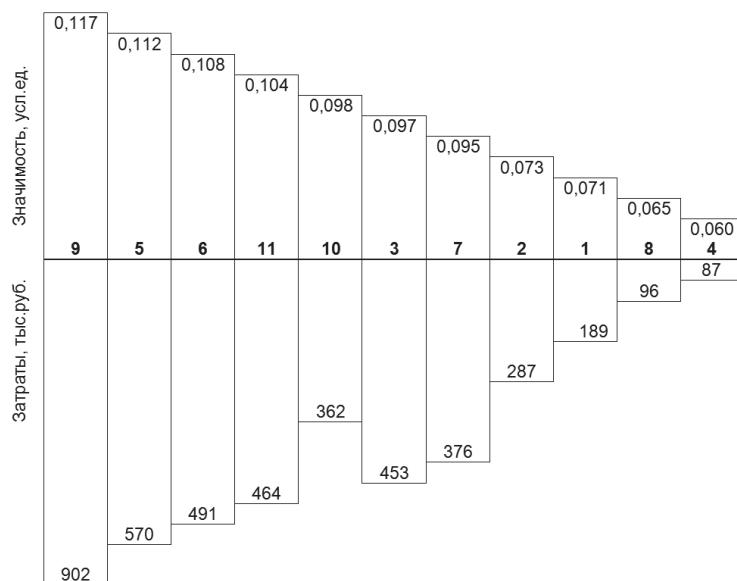


Рисунок 1 – Функционально-стоимостная диаграмма основных функций централизованной бухгалтерии

Для исключения субъективного подхода к оптимизации расходов попробуем воспользоваться уравнением прямой

$$y = ai + b, \quad (1)$$

где i – номер функции в порядке убывания значимости $i = 1, 2, \dots, n$.

Для уравнения прямой выведем значения a и b

$$a = \frac{n \sum_{i=1}^n (i \cdot y_i) - \sum_{i=1}^n (y_i) \sum_{i=1}^n (i)}{n \sum_{i=1}^n (i^2) - \left[\sum_{i=1}^n (i) \right]^2}, \quad (2)$$

$$b = \left[\sum_{i=1}^n (y_i) - a \sum_{i=1}^n (i) \right] / n.$$

Подставляя в полученные уравнения значения первоначальных затрат основных функций ОЦО находим значения $a = -65,6091$; $b = 782,4727$.

Зависимость первоначальных затрат основных функций ОЦО в порядке расположения функций определяется уравнением прямой

$$y = -65,6091i + 782,4727.$$

Расчеты, выполненные по данной формуле, позволяют получить новые значения затрат основных функций математическим методом без субъективного подхода к изменению затрат. Используя метод ФСА и математический анализ, можно определить новые значения

затрат основных функций в зависимости от их значимости.

Новые значения затрат основных функций в зависимости от значимости функций представлены на рисунке 2.

Таким образом, развитие метода ФСА дает возможность:

- повысить качество принятия управленческих решений;
- исключить риски в организации управления хозяйствующего комплекса;
- обеспечить менеджеров методическим и учетно-аналитическим инструментом для подбора обоснованной системы управления организации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Щербаков, В.А. Методология управленческого функционально-стоимостного анализа для предприятий транспорта / В.А. Щербаков, Е.В. Савельева. - Новосибирск: Междунар. акад. науковедения, 2000. - 96 с.

2 Щербаков, В.А. Основы финансового функционально-стоимостного анализа / В.А. Щербаков, Е.А. Приходько. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2003. - 164 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

управление, функционально-стоимостный, анализ, метод, экономическое обоснование, решения, затраты, эффективность, структура

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Мурзина Оксана Анатольевна, аспирант ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

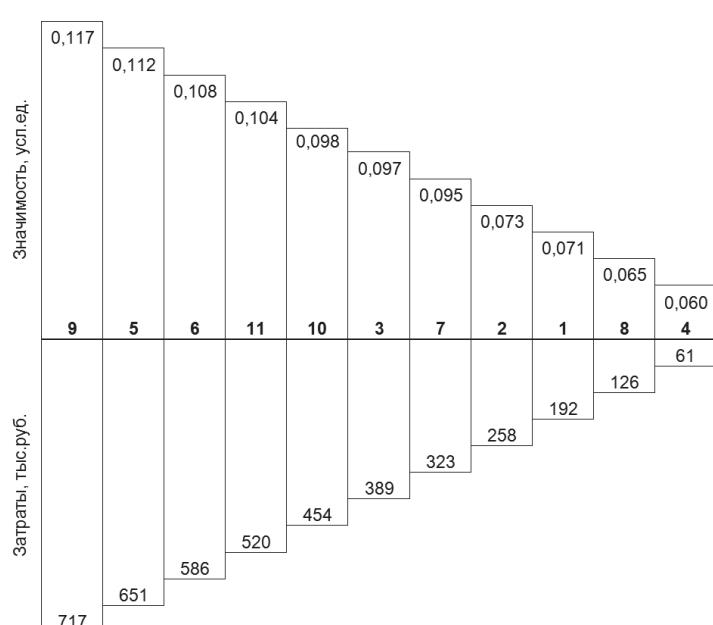


Рисунок 2 – Функционально-стоимостная диаграмма основных функций ОЦО, построенная линейным способом

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ДОСТАВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПУНКТЫ РЕКИ ИНДИГИРКА

Якутский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО
«Новосибирская государственная академия водного транспорта»

И.А. Хохлачёв

THE OPTIMIZATION SCHEME OF DELIVERY OF PETROLEUM PRODUCTS IN POINTS OF THE RIVER INDIGIRKA
Yakut Institute of water transport, branch of "Novosibirsk state Academy of water transport"
I.Al. Khokhlachyev

The methodical approach and the results of the optimization scheme of delivery of petroleum products in points of the river Indigirka.

Keywords: Indigirka, points, oil products, shipping, scheme, optimization

Изложены методический подход и результаты оптимизации схемы доставки нефтепродуктов в пункты реки Индигирка.

Задача оптимизации схем и способов перевозок грузов потребителям достаточно сложная и ответственная. Нередко от её решения зависит успешное функционирование региональной экономики и благополучие населения. К таковым относятся районы Якутии, расположенные в зоне тяготения речного транспорта, расположенной в бассейне р. Индигирка. Транспортный процесс доставки грузов здесь осуществляется в экстремальных арктических условиях. Это требует рассмотрения различных схем движения флота, использования разнотипных судов в зависимости от условий судоходства на всем протяжении водного пути, а также разнообразные условия обслуживания в пунктах грузовой обработки флота.

Существует несколько подходов к решению такого вида задач. Несмотря на различия, их объединяет системный подход [1, 2]. В соответствии с его принципами задача оптимизации схем и способов перевозки грузов является составной частью (элементом) проблемы рациональной организации транспортного процесса доставки груза. Кроме неё в комплекс

входят и другие не менее важные задачи: оптимизация плана использования флота; обоснование организационных форм движения флота; составление планов освоения перевозок, тягового обслуживания несамоходных грузовых судов, портового обслуживания флота и т.д.

Задача оптимизации схемы доставки нефтепродуктов в пункты р. Индигирка является частной по отношению к проблеме поиска рационального плана организации транспортного процесса и эффективности функционирования инфраструктуры экономической системы. В свою очередь она представляет некий комплекс более частных задач, решаемых в определенной последовательности (рисунок 1).

Первые три этапа посвящены изучению внешней среды системы организации транспортного процесса доставки грузов, установлению связей, их характера и влияния на схемы и способы перевозок.



На основе полученных результатов формируется база данных и информационное обеспечение решения поставленных задач для достижения намеченной цели.

Четвертый и пятый этапы содержат непосредственное решение задач. При этом возможные варианты схем и способов перевозок грузов должны включать как можно большее их число. Имеются обоснованные описания в том, что оптимальный вариант может оказаться вне поля зрения исследователя. В этом состоит недостаток вариантового метода поиска решения.

Процедура эксплуатационно-экономического обоснования завершается оценкой эффективности реализации принятого варианта схемы доставки грузов. Положительная оценка состоит в том, что принятое значение критерия соответствует заранее установленной величине. Например, не ниже достигнутого, либо некоторому её превышению. В противном случае, цикл расчетов возвращается к четвертому этапу процедуры, повторяется до получения положительного результата.

Таким образом, в определении эффективности схем и способов перевозок грузов реализация концепции «пригодности», в соответствии с которой вариант считается эффективным, если значение принятого показателя не ниже заданного уровня.

Итак, оптимизация схемы нефтепродуктов в пункты р. Индигирка осуществлены на основе изложенного методического подхода. При этом учитывается в первую очередь характеристики нефтепродуктов, такие как: температуры вспышки, воспламенения и самовоспламенения, плотность, молекулярная масса (вес), вязкость, температуры застывания, электрические и диэлектрические свойства, а также тот факт, что все они являются опасными грузами. На сегодняшний день, для перевозки нефтепродуктов используются суда, имеющие двойные борта и двойное днище в соответствии с требованиями Международной Конвенции МАРПОЛ, вступившими в силу с 2014 г. Относительно Ленских судоходных компаний, данные требования влекут за собой исключение из транспортного процесса танкеров река-море плавания проекта Р-77 типа «Ленанефть-2001» в количестве 19 штук на р. Лена. Единствен-

ные суда, удовлетворяющие современным требованиям является пр.621 типа «Ленанефть-2060» в количестве 7 штук на р. Лена.

Климат в бассейне р. Индигирка резко континентальный. Для нее характерно длительная и холодная зима, короткое теплое лето. На участке реки от поселка Белая Гора до устья весна обычно начинается с середины мая и продолжается до середины июня.

Русло реки здесь извилистое, с небольшим количеством островов и осерёдков. Судовой ход проходит попеременно, то у левого, то у правого корневого берега. Положение судового хода устойчивое.

Наибольшие затруднения для судоходства представляет собой бар р. Индигирка. Это обусловлено следующими обстоятельствами:

- сильные продолжительные ветры, создающие волнения и вызывающие сгонно-нагонные явления;
- туманы, затрудняющие ориентирование;
- отсутствие береговых знаков навигационного оборудования;
- заносимость бара, что требует постоянного проведения дноуглубительных работ в течение всей навигации (рисунок 2).

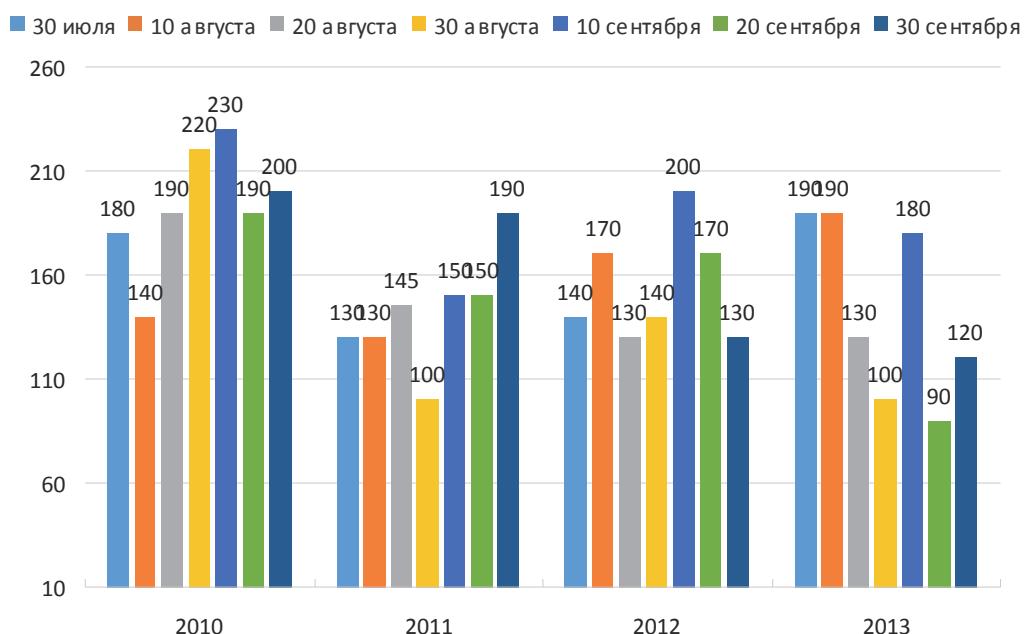


Рисунок 2 – Динамика глубин на баре р. Индигирка

Целью данного исследования является обоснование оптимальной доставки светлых нефтепродуктов из порта Осетрово до пункта Белая Гора, через пункты Нижний Бестях и Быков Мыс, путём сравнения нескольких маршрутов и подбора судов соответствующих проектов с учетом вступления требований Международной Конвенции «МАРПОЛ», а также сокращение зоны эксплуатации нефтеналивных судов смешанного река-море плавания путем исключения их работы на реках, с целью минимизации затрат времени и для выполнения планов Северного завоза (рисунок 3).

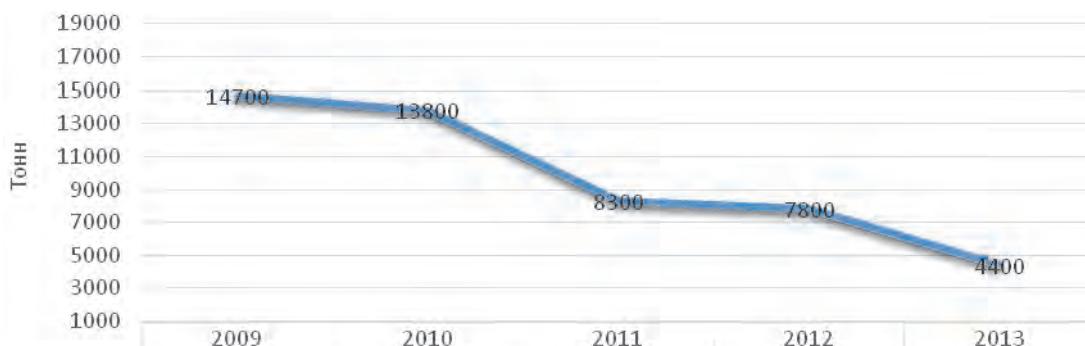


Рисунок 3 – Динамика перевозок нефтепродуктов на р. Индигирка

Для организации перевозки рассмотрены теплоходы проектов: СК-2000КмН с приставкой пр.16800Н, буксир 1741А с баржей пр.16800Н, танкер пр.621, буксир пр.07521 типа «Софрон Данилов» с тремя баржами пр.16801КН, Р-14А с двумя баржами пр.16800Н, и пр.428 с тремя баржами пр.16801КН, а также танкер пр.414Б.

Базовым пунктом отправления является порт Осетрово, пункты назначения и потребления располагаются по всему Ленскому бассейну и Арктическому побережью. Из общего количества нефтепродуктов более 10% приходится на пункты рек Яна и Индигирка.

При оптимизации схем доставки нефтепродуктов от Усть-Кутской нефтебазы на р. Индигирка рассмотрены следующие варианты:

- Танкер пр. 621 (немаршрутная с полной загрузкой) залив Неелова – бар реки Индигирка с последующей перевалкой на баржи проекта 16800НпВ.

- Морской буксир пр. 07521 с тремя баржами проекта 16801КН (немаршрутная с полной загрузкой) с последующей перевалкой на баржи проекта 16800НпВ.

- Танкер пр. СК-2000КмН с приставкой проекта 16800Н до залива Неелова с последующей перевалкой на танкер пр. 621 и состав 07521+(16801КН×3).

- Буксир – толкач пр. 1741А с приставкой пр. 16800Н до залива Неелова с последующей перевалкой на танкер пр. 621 и состав 07521+(16801КН×3).

- Буксир – толкач пр. Р-14А с баржами проекта 16800НпВ (с частичной загрузкой) на участке бара р. Индигирка от острова Немкова до 27 км входной буй бара р. Индигирка.

- Буксир пр. У1А4 типа «Севан» класса «О-ПР»-2,0 работает на постоянной основе на территории Восточно-Сибирского моря в районе входного буя бара Индигирки в качестве рейдово-маневрового буксира и осуществляет расстановку несамоходных судов на морском рейде и подвод их к грузовым судам для перевалки.

- Теплоход-площадка нефтеналивной 414Б – перевалка в районе острова Немкова с состава Р-14А+2×16800НпВ и следованием до пункта Белая Гора.

При перевозке нефтепродуктов от пристани Нижний Бестях рассмотрены следующие варианты:

- Нижний Бестях – залив Неелова обслуживается также составом пр. СК-2000КН с приставкой проекта 16800НпВ.

- Состав пр.428 с тремя нефтеналивными баржами пр.16801КН следует от пристани Нижний Бестях до залива Неелова, далее производится обмен груженых барж на порожние с буксиром пр.07521 типа «Софрон Данилов», который ведет состав до морского рейда бара р. Индигирка. Порожний состав пр.428+3×16801КН следует обратно до Нижнего Бестяха соответственно.

- Участок от залива Неелова до морского рейда р. Индигирка обслуживается также танкером пр.621 и составом пр.07521 с тремя приставками пр.16801КН.

- Участок от морского рейда р. Индигирка (27 км) до острова Немкова (0 км) также обслуживается составом пр.Р-14А с двумя приставками пр.16800НпВ и работает на данном участке в соответствии с п.7.9 Правил Российского Речного Регистра «Эксплуатация судов в районе плавания более высокого разряда в условиях эпизодического плавания» данный эпизод составляет 61 сутки: 01 августа-30 сентября.

- Участок от острова Немкова до поселка Белая Гора обслуживается судами пр.414Б.

Процесс исследования перевозок по данной схеме осуществлен поэтапно. На первом этапе были выполнены расчеты по нормированию работы транспортного флота, определены нормы нагрузки, скорости и времени транспортных операций. В качестве исходных данных приняты: технические и эксплуатационные характеристики транспортных судов, данные о гидротехнических режимах водных путей, природно-климатические условия и габариты судовых ходов, разрядность и судоходная обстановка участков водного пути, свойства и характеристика грузов, а также условия обслуживания транспортных судов в пунктах их обработки.

На втором этапе выполнен расчет потребности во флоте по числу отправлений судов и составов, определены экономические показатели работы транспортного флота, эксплуатационные расходы по флоту и себестоимость перевозки грузов (таблица).

Общая себестоимость перевозок по вариантам перевозок по схеме №1 составляет:

- СК-2000+16800Н залив Неелова – 621 морской рейд бара р. Индигирка – Р-14А+2×16800Н остров Немково – 414Б Белая Гора; $S_T = 4425,8$ руб./т;

- СК-2000+16800Н и 1741А+16800Н залив Неелова – 07521+3×16801КН морской рейд

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

бара р. Индигирка – Р-14А+2×16800Н остров Немково – 414Б Белая Гора; $S_t = 6746,5$ руб./т.

Общая себестоимость перевозок по вариантам перевозок по схеме №2 составляет:

– СК-2000+16800Н залив Неелова – 621 морской рейд бара р. Индигирка – Р-14А+2×16800Н – остров Немково 414Б – Белая Гора $S_t = 3279,8$ руб./т;

– 428+3×16801КН залив Неелова 07521+(3×16801КН) – Морского рейд бара р. Индигирка Р-14А+2×16800Н – остров Немково 414Б – Белая Гора $S_t = 2796,1$ руб./т.

Таблица – Показатели использования флота на грузовых перевозках (объем перевозок 9800 т)

Показатель	Осетрово-Белая Гора						Нижний Бестях-Белая Гора					
	621	07521+3×16801КН	СК-2000КМн+16800Н	1741А+16800Н	Р-14А+2×16800пВ	414Б	621	07521+3×16801КН	СК-2000КМн+16800Н	1741А+16800Н	Р-14А+2×16800пВ	414Б
Грузооборот, тыс. т·км	51156						31869					
Продолжительность кругового рейса, ч	134,2	251,2	679,1	741	19,4	105,3	134,2	226,6	317	322,4	19,4	105,3
Количество круговых рейсов, ед.	4	2	2	2	6	7	4	2	4	2	6	7
Потребность во флоте, ед.	1	1; 3	2	2	1; 2	2	1	1; 3	1	1; 3	1; 2	2
Эксплуатационные расходы, тыс. руб.	9926	6453	28440	28269	676	10747	9926	6172	12862	13128	676	10747
Себестоимость перевозок, руб./т	992	486	2091	2827	63	1279	992	465	946	989	63	1279

Выбор оптимального варианта схемы доставки (светлых) нефтепродуктов на р. Индигирка в условиях наименьшей гарантированной глубины на баре р. Индигирка (130 см) произведен на основе анализа результатов расчета эксплуатационных и экономических показателей использования транспортного флота, а также критерия оценки эффективности. В качестве такого критерия принята себестоимость перевозок. Этот показатель влияет на полезный результат (эффект) деятельности судоходного предприятия. Чем ниже себестоимость перевозок, тем выше прибыль при постоянном уровне грузовых тарифов.

Итак, оптимальным вариантом перевозок нефтепродуктов из основных грузообразующих центров Сибири является немаршрутная с перевалками. На участке Нижний Бестях – залив Неелова (дельта р. Лена) используется состав пр.428 с тремя баржами пр.16801КН. На территории залива производится передача груженых барж указанного проекта и забор порожних у состава пр.07521 типа «Софрон Данилов» с тремя нефтеналивными баржами пр.16801КН. В районе морского рейда бара р. Индигирка производится перевалка нефтепродуктов на состав пр. Р-14А с двумя баржами пр.16800Н с частичной загрузкой 900 т каждая на осадку 110 см, это позволяет проходить лимитирующие участки. В районе острова Немково (0 км.) производится перевалка на суда пр.414Б, суммарная загрузка барж составляет 1800 т и позволяет полностью загрузить 3 судна пр.414Б (600 т). Реализация данной схемы на практике позволит снизить себестоимость перевозок на величину от 10 до 30% по сравнению с альтернативными вариантами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бунеев, В.М. Менеджмент на внутреннем водном транспорте: учебник / В.М. Бунеев, А.В. Зачёсов, Ю.В. Турищев; под общ. ред. В.М. Бунеева. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -430 с.

2 Бунеев, В.М. Обоснование схем и способов организации перевозок с учётом рыночных факторов / В.М. Бунеев, Г.В. Зырянов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2004. -№2. -С. 10-14.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Индигирка, пункты, нефтепродукты, доставка, схема, оптимизация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Хохлачёв Илья Алексеевич, аспирант ЯИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 677000, г.Якутск, ул.Водников, 1, ЯИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ В РОССИИ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Мукасев

PROBLEMS OF DEVELOPMENT OF INNOVATIVE ECONOMY IN RUSSIA

Novosibirsk state academy of water transport

A.V. Mukaseev

This article describes the problems, potential and development of innovative economy in Russia.

Keywords: Innovation, economics, industrial Park, science city, infrastructure

Рассмотрены проблемы, потенциал и пути развития инновационной экономики в России.

Формирование инновационной экономики в России, сталкивается с барьерами, сдерживающее дальнейшее развитие. Многие исследователи до сих пор стоят перед выбором модели инновационного развития экономики. При этом на сегодняшний день в России создается очень много инфраструктур, которые поддерживают инновационную деятельность [1].

Для формирования инновационной экономики в России необходимо создание: технопарков, наукоградов, инновационно-технологических центров и т.д [2].

В настоящее время в России зарегистрировано более 80 технопарков, еще больше инновационно-технологических центров, более 100 центров трансфера технологий, около 70 наукоградов [3], 10 национальных инновационно-инициативных центров, 86 центров научно-технической инновации, свыше 120 бизнес-инкубаторов, 15 центров инновационного консалтинга и другие организации инновационной инфраструктуры. Всего 688 организаций инновационной инфраструктуры [4].

В наше время природные ресурсы являются основной статьей экспорта для России. Экономика, основанная на экспорте энергоносителей, в дальнейшем не сможет быть конкурентоспособной. Если не предпринять активные меры, то Россию в будущем ждет роль сырьевого придатка развитых стран постиндустриального мира. Чтобы этого избежать, перед Россией стоит задача перейти на новый путь экономического развития.

Внедрение инноваций в производственную сферу нашей страны даст не только повышение качества продукции, но и возможность создавать новые рынки сбыта. Также инновационное преобразование требуется не только в промышленности, но и в сфере медицины, услуг, образования и социальной сфере.

Переход к инновационной экономике необходим России с одной стороны, для обеспечения разнообразия производимых в стране товаров, с другой – для сокращения зависимости от импорта стратегически важной продукции и технологий. Инновационный потенциал страны определяет конкурентоспособность отечественной экономики, повышение которой зависит от технологической модернизации за счет отечественных исследований и разработок.

Проблемы становления инновационной экономики в России:

Проблемы в экономическом секторе:

– Недостаточное финансирование науки, в мире большая часть проектов, прикладных исследований организуется с привлечением внебюджетных средств, но у России такая возможность ограничена.

– Неразвитость инновационной инфраструктуры.

– Нехватка финансирования инновационных проектов и малых инновационных фирм, инвесторы не стремятся вкладывать деньги так как они боятся больших рисков в потере своих инвестиций. Причиной такой низкой инновационной активности является то, что при доходности значительно большей, чем от других видов деятельности, по совокупности технологий в долгосрочной перспективе каждая из технологий предполагает [5, 8]: высокий риск (только 1-3% из всех проектов будут прибыльными); большие затраты (в 200-500 раз больше, чем на создание технологии); длительный период развития (5-7 лет).

Проблемы в государственном секторе:

– Неготовность предприятий к внедрению инноваций, так как внедрение новых технологий ставит перед собой ряд проблем, таких как: несовершенная нормативно-правовая база государства, недостатки в налоговом, таможенном и антимонопольном регулировании, не

защищены права интеллектуальной собственности, большая рискованность внедрения инновации (недополучение ожидаемого результата).

Проблемы в промышленном секторе:

– Недостаток квалифицированных кадров на всех уровнях. На сегодняшний день в России идет недооценка рабочих кадров, все стремятся к высшему образованию, но для становления инновационной экономики нужны не только специалисты с высшим образование, но и со средним и начальным профессиональным образованием.

– Недостаточная оплата труда научных сотрудников

Для устранения этих проблем необходимо найти пути их решения.

На мировом рынке доля российской наукоемкой продукции на сегодняшний день составляет всего 4,5-5%, в то время как доля США равна 40%, Японии 30%, Германии 16% [6]. Для того чтобы увеличилась доля на мировом рынке, нужно оказывать поддержку инновационной деятельности, для создания и производства продуктов, которые будут конкурентоспособны на мировом рынке.

Не смотря на все проблемы связанные с развитием инновационной экономики, Россия имеет достаточное количество предпосылок для успешного развития инновационной отрасли экономики, к ним относятся:

- достаточный уровень развития науки по отдельным ее направлениям;
- наличие необходимых финансовых и материальных государственных ресурсов;
- наличие природных ресурсов;
- наличие комплекса предприятий с хорошо технологически организованным производством.

В настоящее время к основным российским макро-технологиям, которые могут составить конкуренцию иностранным, являются космос, авиаация, судостроение, спецхимия, ядерная энергетика, биотехнология микроэлектроника, специальное машиностроение. По этим направлениям Россия обладает собственной научной школой, а уровень имеющейся базы знаний для выхода на конкурентный уровень оценивается в 70-80% от мирового [7,9].

За последнее десятилетие изменилась структура экономики России: ключевыми стали топливная промышленность, электроэнергетика, черная и цветная металлургия (доля в объеме промышленной продукции – 50%, в объеме экспорта – 70%). В развитых странах доля машиностроения и металлообработки в промышленности составляет до 50%, в России – 18%.

Выход. В России не созданы финансовые и налоговые условия для перехода на новые технологии промышленных производств, нет привлечения инвестиций в инновационную деятельность, без чего инновационная экономика не будет в дальнейшем устойчива. Инвесторы не хотят рисковать своими инвестициями, либо просто не заинтересованы в этом, они вкладывают свои сбережения в более прибыльные сферы, такие как: недвижимость, торговля и т.п.

В итоге сложившейся ситуации государство ставит перед собой задачи:

– Создание национальной инновационной системы способствует развитию взаимодействующих субъектов государственных и негосударственных секторов экономики, которые осуществляют инновационную деятельность на основе формируемых институциональных и экономических механизмах.

– Формирование государственных органов организации и координации инновационной деятельности.

– Разработку различных форм государственной поддержки инновационной деятельности: законодательное регулирование инновационной деятельности; финансирование инновационных проектов и программ, которые обеспечивают инновационную деятельность предприятий; инвестирование средств на создание субъектов инфраструктуры инновационной деятельности.

– Реализацию комплексных мер по сохранению сбалансированного развития прикладного сектора науки.

– Создание условий ускоряющих развитие малого и среднего инновационного предпринимательства, таких как развитие электронного правительства; вовлечение в предпринимательскую деятельность некоторых группы населения и обеспечение мобильности населения; институционально преобразование; восстановление роли бизнес сообщества по защите третьих лиц.

– Создание фондов для финансирования инновационной деятельности.

– Модернизация экономики на базе передовых достижений науки и техники, передача прав на интеллектуальную собственность за счет бюджетных средств, разработка порядка долевого использования средств бюджета при патентовании изобретений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Самые инновационные страны в 2012 году [Электронный ресурс] // РБК. Рейтинг. -2013. -Режим доступа: URL: <http://rating.rbc.ru/graphs/full.shtml?2012/07/05/33704398>.
- 2 Петрунин, В.В. Инновационная деятельность в свободных экономических зонах и технопарках / В.В. Петрунин // Финансовый вестн. -2008. -№3.
- 3 Наукограды [Электронный ресурс] // Наука и инновации в регионах России. -2013. -Режим доступа: URL: <http://regions.extech.ru/naukgr/ng.php>.
- 4 Роскош, М.В. Проблемы становления инновационной экономики в России / М.В. Роскош // Молодой ученый. -2011. -№3, Т.1. -С. 196-198.
- 5 Инновационный менеджмент и экономика организации (предприятия): практикум / под ред. Б.Н. Чернышева, Т.Г. Попадюк. -М.: ИНФРА-М: Вуз. учеб., 2009. -240 с.
- 6 Рамазанов, Ж.Ш. Инновационная модель экономики и проблемы её формирования в России / Ж.Ш. Рамазанов // Изв. ТПУ. -2010. -№6.
- 7 Гретченко, А.А. Инновации в России: история, современность и перспективы / А.А. Гретченко, С.В. Манахов // Креатив. экономика. -2011. -№3(51). -С. 76-84.
- 8 Российский статистический ежегодник 2012 [Электронный ресурс]: офиц. сайт Федер. службы гос. статистики РФ. -Режим доступа: URL: <http://www.gks.ru/>. -17.12.2013.
- 9 Колганов, А.И. Российское государство и национальная инновационная система [Электронный ресурс] / А.И. Колганов // Альтернативы. -Режим доступа: URL: <http://www.alternativy.ru/old/articles/2005/04/kolganov.html>. -17.12.2013.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инновация, экономика, технопарк, наукоград, инфраструктура
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Мукассеев Александр Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА КОТИРОВКИ АКЦИЙ НЕКОТОРЫХ АВИА- И ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗЧИКОВ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.Н. Спицына, И.В. Филатов

THE ANALYSIS OF EXTERNAL FACTORS INFLUENCE ON SOME AIR AND RAILWAY CARRIERS QUOTES
Siberian state transport university
I.N. Spitsyna, I.V. Filatov

The research of external factors on air and railway carriers quotes included in Dow Jones Transportation Average calculation group on the basis of public information of Russian and American news-agencies and New York Stock Exchange.

Keywords: quotes, external factors, air carriers, rail carriers

Исследование внешних факторов влияния на котировки авиакомпаний и железнодорожных перевозчиков, входящих в круг расчёта транспортного фондового индекса Dow Jones на основе информационных сообщений крупнейших российских и американских агентств, а также публичных данных Нью-Йоркской фондовой биржи.

В плане деятельности Минэкономразвития говорится о намерении приватизировать первые 5% акций ОАО «Российские железные дороги» до конца 2014 г. Согласно прогнозам ведомства, до конца 2016 г. планируется приватизировать еще 20% акций компании [2].

В связи с этим очевидно, что, не смотря на некоторое отставание по времени от прогнозов, в будущем акции ОАО «РЖД» будут торговаться на бирже, а значит, проявляется необходимость иметь возможности и опыт оценки и анализа влияния различных факторов, не зависящих от деятельности компании, на котировки её акций.

Для моделирования различных ситуаций методом статистического арбитража были рассмотрены изменения стоимости акций за первые три квартала 2014 г. девяти крупнейших американских транспортных компаний-перевозчиков (Alaska Air Group, Inc., CSX Corp., Delta Air Lines, JetBlue Airways Corp., Kansas City Southern, Norfolk Southern Corp., Southwest Airlines, Inc., Union Pacific Corp., United Continental Holdings), входящих в круг расчёта фондового индекса The Dow Jones Transportation Average – показателя, характеризующего движение цен на акции транспортных компаний.

Для анализа факторов были использованы сообщения крупных российских информационных агентств – РосБизнесКонсалтинг и РИА Новости, а также американской ежедневной газеты The Washington Post.

Все данные носят официальный публичный характер и публикуются на сайте Нью-Йоркской фондовой биржи [3].

Были рассмотрены и проанализированы события, произошедшие в американской и глобальной экономике, политике и экологии, даны оценки наиболее сильным факторам влияния на деятельность компаний-перевозчиков. При этом, во избежание погрешности от влияния внутренних факторов, в расчёт брались только те периоды, когда происходили единовременный рост или падение котировок всех компаний.

По результатам анализа было выделено 36 закономерностей, разбитых впоследствии на 6 групп факторов:

- geopolитические;
- факторы влияния государства на экономику;
- внутрирыночные, связанные с крупным бизнесом и рыночными механизмами;
- факторы, связанные с организацией движения
- внешнеэкономические
- факторы глобального влияния на жизнедеятельность человечества

Особенно следует выделить тот факт, что на рынке перевозок в США сложилась тенденция к ориентации авиакомпаний на пассажирские перевозки, железнодорожных – на грузоперевозки. Таким образом, можно выделить не только степень внимания инвесторов к изменениям мобильности населения, но и их отношение к перевозкам различных массовых грузов.

Наиболее распространённое освещение и периодичность проявления в использованных источниках информации получили geopolитические факторы. 2014 г. отмечен значительными изменениями в мировой geopolитике, особенно связанными с событиями в Украине, а также с возрастанием террористической угрозы от деятельности организации «Исламское государство Ирака и Леванта» на Ближнем Востоке.

В работе Е.А. Фёдоровой сказано: «Инвесторы в основном боятся политических факторов, способных изменить условия деятельности компаний, поэтому многие предпочитают закрывать свои позиции на время политических событий, вызывая падение котировок» [1].

По итогам анализа собранных данных выяснено, что наибольшим образом на курсах акций отразились массовые волнения в Украине 18-19 февраля, то есть период крупных протестных митингов и боевых действий в Киеве. За два дня акции железнодорожных и авиаперевозчиков «ушли в красную зону» в среднем на 2,30%, при этом наиболее чувствительными оказались авиаперевозчики, показав снижение в среднем на 2,72%. Акции железнодорожных компаний снизились в тот же период в среднем на 2,05%.

С Украиной же связывают и снижение общих котировок акций в среднем на 2,26% (в т.ч. авиакомпании – 3,15%, ж.д. – 1,72%) в период с 12 по 16 июня, отмеченный увеличением интенсивности боевых действий в Луганской и Донецкой народных республиках, г. Славянске, а также недостижением договоренности по цене на газ для Украины.

Однако, стоит отметить, что в этот же период происходили и другие изменения. Прежде всего, негативно влиял на рынок рост напряженности в Ираке, который сказывается на настроениях инвесторов на мировых фондовых рынках, где сокращение предложения энергоснителей рассматривается как фактор замедления экономического роста [4].

Стоит также отметить тот факт, что 25 марта страны «семерки» приостановили своё членство в G8 до тех пор «пока Россия не изменит политический курс». Фактически это означает исключение России из «большой восьмерки». Саммит, запланированный в Сочи в июне 2014 г. был перенесен в Брюссель [5]. Рынки отреагировали на эту новость снижением акций перевозчиков на 1,97% в среднем, в т.ч. авиакомпании потеряли в стоимости 2,10%, ж.-д. – 1,89%.

В то же время, в период с 3 по 9 июня, когда национальными лидерами крупнейших мировых держав отмечалась стабилизация и планомерное появление тенденций к мирному урегулированию конфликта на Украине [6], курс акций рассматриваемых компаний рос, прибавив к 9 июня в среднем 3,34%, в т.ч. авиакомпании выросли в цене на 3,65%, железнодорожные компании – на 3,11%.

Ко второй группе факторов относится внутреннее влияние государства на экономику. В целом, упоминания такого рода зависимостей среди экспертов совпадают с периодами общего изменения курсов акций рассматриваемых перевозчиков четырнадцать раз.

Наибольшее влияние среди таких факторов по итогам анализа данных было выявлено у заявлений или их ожидания от главы ФРС США Джанет Йеллен о сокращении «политики ко-

личественного смягчения», изменении государственного субсидирования [7] и отчётов ФРС о данных по безработице – 24 января [8] (среднее снижение на 3,19%, в том числе авиаперевозчики – 3,38%, ж.д. – 3,13%), 19 февраля [9] (среднее снижение на 0,87%, в том числе авиаперевозчики – 0,49%, ж.д. – 1,10%), 17 апреля [10] (среднее повышение на 1,60%, в том числе авиаперевозчики – 1,04%, ж.д. – 1,93%), в период с 12 по 16 июля [11] (среднее снижение на 2,26%, в том числе авиаперевозчики – 3,15%, ж.д. – 1,72%), 20 июня [12] (среднее снижение на 1,51%, в том числе авиаперевозчики – 1,64%, ж.д. – 1,44%) и 25 сентября [13] (среднее снижение на 1,36%, в том числе авиаперевозчики – 1,45%, ж.д. – 1,31%).

Из полученных данных видно, что на благоприятные для рынка новости стоимость акций железнодорожных компаний реагирует активнее, в свою очередь акции авиакомпаний стремительнее снижаются под влиянием государственного финансового регулятора.

Среди внутрирыночных факторов влияния на котировки акций следует выделить отчёты по индексу деловой активности [14] в обрабатывающей промышленности, составляющей 12% ВВП США [15, 16]. Вкупе с данными по безработице данный показатель приводил к изменениям котировок акций от 2,31% до 3,63%.

Положительные показатели строительных фирм, горных и буровых компаний дают старт росту акций исследуемых компаний в среднем на 2,31%, в том числе авиакомпаний – 2,16%, железнодорожных – на 2,39%. Тот факт, что вторая группа компаний реагирует острее, неудивителен, так как строительные материалы составляют весомую долю перевозимых ими грузов [17].

К эксплуатационным факторам влияния, упомянутым в анализируемых источниках, следует отнести факт ЧП с двумя подростками в г. Мэрисвилле, Калифорния 21 марта, в результате которого многие СМИ обратили внимание на тенденцию к увеличению численности жертв, связанных с железнодорожным транспортом [18]. Под влиянием этого фактора котировки акций исследуемых железнодорожных компаний снизились в среднем на 1,89%.

Следует обратить особое внимание на события 16 и 17 июля 2014 г. – введение санкций со стороны США в отношении ряда российских оборонных и сырьевых компаний и падение самолета рейса MH17 Malaysia Airlines на территории Украины [19]. Рынки ответили немедленным спуском в красную зону [20] в среднем на 1,35%, в т.ч. авиакомпании – на 2,05%, ж.-д. – на 0,93%. Такая разница в процентах понятна, ведь падение Boeing 777-200ER затронуло в первую очередь пассажирские перевозки. По оценкам экспертов [19], вторая новость стала ключевым катализатором снижения, как на российских площадках, так и на биржах Европы и США. Стоит отметить, что изучение данных последующего периода показало, что хоть авиакатастрофа и имела влияние значительное, нежели введение санкций, однако, экономические ограничения обладали более пролонгированным эффектом на курсы акций.

Сразу же после появления новости о трагедии, инвесторы начали продавать акции, а цены на золото и облигации выросли за счет резкого повышения спроса на безопасные активы [22].

Примечательно, что во многих случаях, после значительного падения цены происходил непременный рост до докризисного уровня, а в некоторых случаях и выше. Так, акции Malaysian Airlines уже к 7 августа вернулись к уровню 16 июля [23]. А это значит, что такие периоды являются благоприятным случаем для инвестирования в акции железнодорожных и авиаперевозчиков.

Однако, если говорить о санкциях со стороны США в отношении России, следует отметить, что влияние на стоимость анализируемых компаний оказали только ограничения в отношении ряда оборонных и сырьевых заводов, нефтепроизводителей и газовых компаний. В день их объявления [20] авиаперевозчики потеряли в цене в среднем 0,80%, а железнодорожные компании даже выросли в среднем на 0,23%). 29 июля же, когда кредитным ограничениям подверглись крупнейшие банки России, корреляции не наблюдается.

Уже упомянутые выше экономические ограничения относятся к пятому типу факторов – внешнеэкономическим. К этой же группе можно отнести и такие глобальные изменения в мировой экономике, как снижение темпов роста ВВП Китая, отчёты о которых 24 января и 12 марта 2014 г. привели к общему снижению всех крупнейших индексов [22], что отразилось и на исследуемых компаниях. В обозначенные периоды происходило снижение в среднем на 3,19% (в т.ч. авиаперевозчики – на 3,28%, ж.-д. – на 3,13%) по итогам отчётов 24 января и на 2,09% (2,47% и 1,86% соответственно) 12 марта.

Европейский центральный банк, один из крупнейших регуляторов рынка в мире, так же, как и национальный регулятор – ФРС – влияет на снижение совокупного предложения лик-

видности в мире. Изменение процентной ставки [6], вкупе со снижением политической напряженности на Украине в период с 3 по 9 июня привели к росту цен акций анализируемых компаний в среднем на 3,34% (в т.ч. авиаперевозчики – на 3,65%, ж.-д. – на 3,11%).

Отдельно следует выделить резкое увеличение количества заболевших лихорадкой Эбола. По данным The Washington Post, из-за опасений заражения этим вирусом, население США значительно сократило количество поездок в штаты, где были зафиксированы случаи инфицирования, и страны Африки. На фоне этого, в конце января 2014 г. котировки акций авиакомпаний таких, как American Airlines, Delta Air Lines и ряда других снизились в среднем на 3%.

В целом, по итогам анализа, можно сделать вывод, что акции авиакомпаний, ориентированных на пассажирские перевозки, наиболее чувствительны к внешним изменениям, нежели акции железнодорожных компаний, акцентирующих свою деятельность в основном на перевозках массовых грузов. Это связано с тем, что население, как основной потребитель услуг, большим образом подвержено влиянию различных субъективных факторов. Крупные промышленные же предприятия определяют направления, цели и интересы своей деятельности исходя из объективных данных внешней среды.

К наиболее влиятельным внешним факторам, явившимся причиной сильнейших модальных изменений стоимости исследуемых компаний, относятся влияние государственного регулятора на национальную экономику, а также внутрирыночные факторы, характеризующие внутреннее изменение в финансово-экономической и промышленной среде страны.

Было отмечено возрастающее влияние монетарных факторов на цены активов из-за значительных перемещений международного капитала. Это подтверждается влиянием на курсы акций отчетных данных о развитии экономики Китая, изменений монетарной политики международных регуляторов рынка, прогнозов Международного валютного фонда.

В целом, при значительных падениях курсов акций рассматриваемых компаний, было установлено, что стоимость акции возвращалась к исходной в краткосрочном периоде. Эти данные позволяют сделать вывод о возможном краткосрочном инвестировании в подобные компании с целью извлечения прибыли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 // Федорова, Е.А. Влияние макроэкономических факторов на фондовый рынок России / Е.А. Федорова, К.А. Панкратов // Проблемы прогнозирования. -М., 2010. -№2.
- 2 // Рос. газ. -Режим доступа: <http://www.rg.ru/2013/05/27/privatizacia-anons.html>. -14.10.2014.
- 3 // The New York Stock Exchange. -Режим доступа: <https://www.nyse.com/index>. -14.10.2014.
- 4 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/06/16/34170499.html>. - 10.10.2014.
- 5 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/news/fond/2014/03/25/34139030.html>. -10.10.2014.
- 6 // РБК Quote.-Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/06/10/34168335.html>.
- 7 // The Washington Post. -Режим доступа: http://www.washingtonpost.com/business/economy/state-to-release-keystones-final-environmental-impact-statement-friday/2014/01/31/3a9bb25c-8a83-11e3-a5bd-844629433ba3_story.html. -11.10.2014.
- 8 // РБК Украина. -Режим доступа: <http://globalmarkets.rbc.ua/rus/v-ssha-fondovye-torgi-24-yanvarya-otkrylis-zametnym-ponizheniem-24012014182000>. -11.10.2014.
- 9 // РБК. -Режим доступа: <http://top.rbc.ru/economics/19/02/2014/905908.shtml>. -12.11.2014.
- 10 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/news/fond/2014/04/17/34149727.html>. -10.10.2014.
- 11 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/06/16/34170165.html>. -12.10.2014.
- 12 // The Washington Post. -Режим доступа: http://www.washingtonpost.com/business/economy/another-weekly-record-for-stocks/2014/06/20/38e9636a-f8a0-11e3-a3a5-42be35962a52_story.html. -11.10.2014.
- 13 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/09/26/34223949.html>. -13.10.2014.
- 14 // Elite Trader. -Режим доступа: <http://elitetrader.ru/index.php?newsid=201489>. -13.10.2014.
- 15 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/01/31/34107652.html>. -13.10.2014.
- 16 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/news/fond/2014/04/10/34147224.html>. -13.10.2014.
- 17 // Norfolk Southern Corp. -Режим доступа: <http://www.nscorp.com/content/nscorp/en/get-to-know-norfolk-southern/about-us.html>. -13.10.2014.
- 18 // The Washington Post. -Режим доступа: http://www.washingtonpost.com/teenage-death-focuses-attention-on-train-track-fatalities/2014/03/25/72f6e488-0820-43c0-ae24-1928064c8044_story.html. -13.10.2014.
- 19 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/07/18/34186979.html>. -13.10.2014.
- 20 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/07/17/34186548.html>. -13.10.2014.
- 21 // РБК Quote. -Режим доступа: <http://quote.rbc.ru/topnews/2014/07/21/34187742.html>. -14.10.2014.
- 22 // Investfunds KZ. -Режим доступа: [http://investfunds.kz/markets/indicators/indeks-dow-jones/?&f_s\[sdate\]=05.11.2013&f_s\[edate\]=&f_s\[idx\]=0&page_num=8](http://investfunds.kz/markets/indicators/indeks-dow-jones/?&f_s[sdate]=05.11.2013&f_s[edate]=&f_s[idx]=0&page_num=8). -14.10.2014.
- 23 // Bloomberg. -Режим доступа: <http://www.bloomberg.com/quote/3786:MK>. -14.10.2014.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: котировки акций, внешние факторы, авиаперевозчики, железнодорожные перевозчики

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Спицына Ирина Николаевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Филатов Илья Владимирович, студент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

СТОИМОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

И.А. Трефилова, В.А. Щербаков

VALUE-BASED RESEARCH INTO THE EFFECTIVENESS OF BUSINESS TRANSPORT COMPANIES

Siberian state transport university

I.A. Trefilova, V.A. Shcherbakov

The article presents the methodology and results of the analysis of economic efficiency of the transport companies using value-based approach. As a key indicator adopted enterprise value. Definitions and formulas are accompanied by numerical examples based on open financial statements of Railway Transport JSC "Federal Passenger Company".

Keywords: effectiveness of economic activity, enterprise value
Value-based management, value-based management, Tobin's coefficient

Приводится методика и результаты анализа эффективности хозяйственной деятельности транспортного предприятия с использованием стоимостно-ориентированного подхода. В качестве ключевого показателя принята стоимость предприятия. Определения и формулы сопровождаются числовыми примерами на базе открытой финансовой отчетности предприятия железнодорожного транспорта ОАО «Федеральная пассажирская компания».

Становление рыночной экономики в России проходило и проходит параллельно с реформированием и совершенствованием системы учетно-аналитического обеспечения хозяйственной деятельности. Понимание того, что решение многих вопросов в оценке эффективности хозяйственной деятельности нельзя формально переносить из опыта аналитиков зарубежных стран пришло еще в самом начале рыночных преобразований. Многие методические решения в этой области были сформулированы еще в начале 1990-х годов и применяются до настоящего времени. Эти решения уже стали «классикой» и специалисты-аналитики не всегда в состоянии корректно и обоснованно отказаться от их использования в пользу имеющихся современных подходов. В данной работы предпринята попытка формулировки некоторых новых взглядов на формирование инструментов аналитического обеспечения процедуры определения эффективности хозяйственной деятельности.

В качестве базовой теории при формировании системы управления эффективностью предприятия целесообразно выбрать теорию стоимости. Теория стоимости [1] рассматривает такую категорию, как «стоимость», изучая ее сущность и взаимосвязи с другими категориями (цена, ценность, полезность и т.п.). Согласно данной теории каждый объект обладает определенной стоимостью, которая является выражением его ценности и полезности для внешних и внутренних контрагентов. Основная задача заключается в определении параметров, определяющих стоимость объекта и их взаимосвязи друг с другом. В настоящее время под стоимостью понимают денежное выражение ценности объекта и относящихся к нему прав собственности в конкретный момент времени. Таким образом, обязательным элементом теоретического обоснования системы управления эффективностью являются положения теории стоимости.

В настоящее время в оценке стоимости предприятия достаточно четко выделились следующие ключевые проблемы:

Рассмотрим перечисленные «проблемы» по порядку. Все расчеты иллюстрируются на примере анализа показателей открытой финансовой отчетности ОАО «ФПК».

1 Проблема показателя (вида) стоимости предприятия.

Проблема «выбора» показателя оценки, как правило, в литературе сводится к определению названия оцениваемой стоимости в зависимости от целей последующего использования полученной величины. При этом часто забывается, что «стоимость», как экономическая категория всегда имеет две стороны [1]:

– Стоимость продукта как мера обмена на равноценный продукт («меновая» стоимость). Именно данная величина и используется в сделках купли-продажи.

– Стоимость продукта как характеристика его свойств для потребителя («потребительская» стоимость). Основным потребительским свойством оцениваемого предприятия (бизнеса) является его способность приносить доход инвесторам (собственникам, кредиторам).

Поэтому в процедурах оценки необходимо выделять величину «потребительской» стои-

ности, определяемой на основе показателей оцениваемого предприятия. Эту стоимость в оценочной деятельности принято называть внутренней или фундаментальной стоимостью предприятия [2, 3].

Таким образом, фундаментальная стоимость предприятия S_ϕ рассчитывается с применением аналитического инструментария и определяется только показателями хозяйственной деятельности оцениваемого предприятия. В этом случае рыночная стоимость S_p , должна будет рассчитываться по формуле

$$S_p = S_\phi \pm \Delta,$$

где Δ – некоторая добавка, в которой учитываются рыночные факторы (конъюнктура рынка, предпочтения продавца и/или покупателя и т.п.).

Применяемые аналитические алгоритмы расчета S_ϕ должны в максимальной степени исключать субъективный фактор и опираться на обоснованные экономические расчеты.

2 Проблема выбора показателей для прогнозирования.

При выборе показателей для прогнозирования необходимо учитывать требование максимизации взаимной независимости прогнозируемых показателей. Например, рассчитываются прогнозные значения прибыли (ЕВI) из данных «Отчета о финансовых результатах» и величины стоимости активов (ТА) из данных «Бухгалтерского баланса».

3 Проблема определения количества лет прогнозного периода.

При расчете фундаментальной стоимости, как правило, критическим оказывается последний фактор. В качестве величины числа лет прогнозного периода принимается значение, обоснованное в [3].

Значение количества лет прогнозного периода будет зависеть от соотношения величины денежного потока и величины стоимости активов предприятия. Для предприятий с большой балансовой стоимостью активов минимальное количество лет прогнозного периода может достигать весьма значительной величины. Например, для ОАО «ФПК» минимальное количество лет должно быть принято не менее 5 лет.

Проведенные исследования [4] показали, что если не учитывать в расчетах величину минимального количества лет прогнозного периода, то ошибка метода дисконтированных денежных потоков может превышать 10%.

Т. Коупленд в своей классической книге по оценке стоимости предприятия [5], касаясь проблемы большого количества лет прогнозного периода, отмечает, что, ненужно этого бояться, а необходимо весь прогнозный период, по возможности, разбить на период неформального (краткосрочного прогноза – 3-5 лет) и формального прогноза, выполняемого, например, методами математической экстраполяции.

4 Проблема выбора методики прогнозирования.

Например, достаточно хорошие результаты дает обычная линейная экстраполяции по трем периодам, предшествующим прогнозному.

Остальные необходимые прогнозные показатели рассчитываются из, например, условия неизменности финансового состояния предприятия в прогнозный период.

В работе [6] приведена более сложная формула для расчета прогнозных значений величины инвестированного капитала из условия неизменности финансового состояния предприятия по показателям финансовой устойчивости и платежеспособности.

5 Проблема выбора методического подхода к оценке: «затратный», «доходный» или «добавленная экономическая ценность (ЕВА)» и их «согласования» в один показатель.

Как правило, в отечественной литературе по практике оценки бизнеса принято обсуждать критерии «выбора наиболее приемлемого (наиболее рационального) метода» расчета величины стоимости предприятия. На наш взгляд проблема представляется в определенной степени надуманной.

Так, например, доходный метод (дисконтирование денежных потоков) и метод добавленной экономической ценности (ЕВА) позволяют рассчитать одну и ту же величину фундаментальной стоимости предприятия с разных точек зрения:

– при дисконтировании денежных потоков получаем величину фундаментальной стоимости из общей величины прогнозируемых будущих доходов;

– метод добавленной экономической ценности позволяет рассчитать величину фундаментальной стоимости из анализа эффективности использования инвестированного в данное предприятие капитала.

Затратный подход и рассчитываемая в его рамках стоимость (S_u -стоимость чистых активов или стоимость собственного капитала, увеличенная на величину доходов будущих периодов) не имеет, как правило, самостоятельного значения. Данная величина, прежде всего, используется в качестве критерия эффективности функционирования предприятия:

– если величина фундаментальной стоимости предприятия превышает величину S_u , значит предприятие функционирует эффективно и идет «наращение» его стоимости;

– если величина фундаментальной стоимости меньше величины S_u , значит предприятие работает неэффективно и происходит «разрушение» его стоимости [3].

Доказано [2, 6], что при корректном расчете величины стоимости предприятия методом дисконтированных денежных потоков S_d и методом добавленной экономической ценности S_{EVA} должна получиться одна и та же величина, то есть величина фундаментальной стоимости предприятия

$$S_\phi = S_d = S_{EVA}.$$

6 Проблема определения величины ставки дисконтирования.

В отличие от ставки дисконтирования, используемой в анализе приемлемости инвестиций (там данный показатель отражает возможность для инвестора альтернативного выбора направлений вложений), ставка дисконтирования в оценке стоимости предприятия характеризует норматив, по которому предприятие использует привлеченный капитал как в плане затрат на него, так и в плане способности получать доходы. Поэтому в качестве ставки дисконтирования и используется величина средневзвешенной стоимости капитала $WACC$. Трудности в его расчете определяются не столько в невозможности просуммировать ставки по кредитам и дивидендам, пропорционально их объему в инвестированном капитале, сколько тем, что сама величина $WACC$, используемая в расчетах, является некоторым «усредненным» значением всех средневзвешенных стоимостей капитала по всем годам прогнозного периода.

Для расчета $WACC$ рекомендуется использовать то обстоятельство, что стоимости рассчитанные дисконтированием денежных потоков и через добавленную экономическую ценность независимы и характеризуют одну и ту же величину фундаментальной стоимости предприятия с разных сторон. Поэтому величина $WACC$ определяется из решения уравнения

$$S_d = S_{EVA}.$$

Применительно к ОАО «ФПК» проведенные расчеты показали, что $WACC = 3,52\%$.

Подводя итог изложенному материалу, отметим, что описанный здесь аналитический инструментарий определения величины стоимости предприятия позволяет:

– максимально исключить субъективный фактор из оценки величины фундаментальной стоимости предприятия и повысить объективность определения величины рыночной стоимости предприятия;

– обеспечить сопоставимость данных по разным предприятиям и временными периодами;

– вполне может быть использован в мониторинге динамики стоимости предприятий по отраслям и регионам в рамках оценки инвестиционной привлекательности [7].

Основным критерием эффективности хозяйственной деятельности является превышение дисконтированной (приведенной) величины инвестированного в предприятие капитала $/C_k$ к первоначальной или балансовой величине инвестированного капитала $/C_b$. На основе данного соотношения рассчитывается коэффициент Тобина

$$Q = \frac{/C_k}{/C_b}.$$

В этом случае критерий эффективности хозяйственной деятельности предприятия выражается соотношением

$$Q \geq 1.$$

В таблице приведены результаты расчета величин стоимости предприятия как имущественного комплекса, капитализированной стоимости предприятия как источника получения дохода, величина средневзвешенной стоимости привлеченного капитала и величина коэффициента Тобина.

Из таблицы следует, что ОАО «ФПК» является эффективным предприятием, так как коэффициент Тобина больше единицы.

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Таблица – Расчет показателей эффективности хозяйственной деятельности ОАО «ФПК»

Показатели	Обозначение	Численное значение
Средневзвешенная стоимость привлеченного капитала, %	WACC	3,52
Стоимость предприятия как имущественного комплекса (балансовая стоимость), тыс. руб.	S_u	172394633
Стоимость предприятия как источника получения дохода (капитализированная стоимость), тыс. руб.	S_ϕ	281413911
Коэффициент Тобина	Q	1,65
Капиталоотдача	KO	0,697

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Елисеев, В.М. Системная технология оценки стоимости крупных производственных комплексов / В.М. Елисеев; отв. ред. М.В. Лычагин. -Новосибирск: ИЭОПП СО РАН, 2004. -212 с.
- 2 Волков, Д.Л. Теория ценностно-ориентированного менеджмента: финансовый и бухгалтерский аспекты / Д.Л. Волков. - 2-е изд. -СПб.: Выш. шк. менеджмента, 2008. -320 с.
- 3 Щербаков, В.А. Оценка стоимости предприятия (бизнеса) / В.А. Щербаков, Н.А. Щербакова. -4-е изд., перераб. и доп. - М.: Омега-Л, 2012. -315 с.
- 4 Щербаков, В.А. Методика исследования инвестиционной привлекательности предприятий транспортного комплекса / В.А. Щербаков, К.А. Сережин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 140-143.
- 5 Коупленд, Т. Стоимость компаний: оценка и управление: пер. с англ. / Т. Коупленд, Т. Коллер, Дж. Муррин. -М.: Олимп-Бизнес, 2000.
- 6 Когденко, В.Г. Методология и методика экономического анализа в системе управления коммерческой организацией: монография / В.Г. Когденко. -М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2008. -543 с.
- 7 Трефилова, И.А. Функционально-стоимостные балансы в системе стратегического учета на предприятиях транспорта / И.А. Трефилова // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№1. -С. 128-131.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: эффективность хозяйственной деятельности, стоимость предприятия, ценностно-ориентированный менеджмент, коэффициент Тобина

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Трефилова Ирина Александровна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Щербаков Валерий Александрович, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ПЕРЕВОЗКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ГРУЗОВ, ТРЕБУЮЩИХ ОСОБЫХ УСЛОВИЙ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.М. Островский, А.М. Лисютин, Л.Ю. Высоцкий

RAILWAY TRANSPORTATION OF CARGOES REQUIRING SPECIAL CONDITIONS

Siberian state transport university

A.M. Ostrovskiy, A.M. Lisyutin, L.Yu. Vysotskiy

The categories of goods that require special conditions of admission on the railways are considered. The main problems for such transportation are identified, the ways of their solution are outlined.

Keywords: dangerous goods, heavy loads, long loads, railway, carriages, stations, sorting slides

Рассмотрены категории грузов, требующих особых условий пропуска по железным дорогам. Определены основные проблемы, возникающие при таких перевозках, обозначены пути их решения.

К грузам, требующим особых условий перевозки (далее – ТОУП), относятся опасные, негабаритные, тяжеловесные, длинномерные.

К опасным относятся грузы, которые в процессе перевозки могут нанести вред окружающей природной среде, послужить причиной гибели, травмирования или заболевания людей и животных [1].

Негабаритные грузы 3-6-й степеней требуют прекращения движения по соседнему главному пути в случае их пропуска по двухпутным железнодорожным линиям [2].

Тяжеловесными считаются как габаритные, так и негабаритные грузы весом 25 т и более в одном месте (упаковке). Установлены определенные нормы погрузки сосредоточенных грузов на соответствующие площади пола платформ. При невозможности соблюдения этих норм для перевозки тяжеловесных грузов используются многоосные транспортеры, являющиеся специальным подвижным составом.

При перевозке длинномерных грузов на платформах груз размещается, как правило, на двух опорах, находящихся на одной или двух платформах сцепа.

К грузам ТОУП предъявляют особые условия к перевозке железнодорожным транспортом, что вызывает дополнительные эксплуатационные расходы. Опасные грузы требуют особых условий при роспуске с сортировочных горок, выполнении маневровых операций и формировании поездов [3, 4], что снижает перерабатывающую способность сортировочных станций.

Нормативно-правовые акты, регламентирующие перевозку, предусматривают проведение дополнительных мер по обеспечению безопасного следования вагонов с грузами ТОУП по железнодорожным линиям. Так, согласно [1] взрывчатые вещества и изделия перевозятся в грузовых поездах с постановкой соответствующего прикрытия, сформированных в пределах норм по весу или по длине, предусмотренных графиком движения поездов. Некоторые опасные грузы должны перевозиться только специализированными поездами, пропуск которых устанавливается железнодорожной администрацией.

При производстве маневров с вагонами, загруженными опасными грузами, существуют значительные ограничения [5, 6]. Существуют ограничения пропуска поездов с негабаритными грузами [2].

Станции отправления грузов ТОУП, как правило, расположены в крупных промышленных центрах, и необходимо учитывать, что эти грузы предъявляются к перевозке неравномерно. Для улучшения экономических показателей следует определить закономерности предъявления грузов ТОУП к перевозке.

Для оценки различных факторов, регламентирующих перевозку грузов ТОУП, необходимо знать закономерность в неравномерности предъявления к перевозке этих грузов по железным дорогам страны. Для определения величины показателей в условиях неравномерности нужно установить, при каком количестве выборок частичная совокупность будет представительной генеральной совокупностью, то есть за сколько суток необходимо проанализировать отправление этих грузов с начальных станций, чтобы выводы имели нужную достоверность.

С учетом данных особенностей достаточное число наблюдений может быть определено по формуле

$$n' = \frac{1}{\frac{1}{n} + \frac{1}{N}}, \quad (1)$$

где n – минимальное количество объема частичной совокупности;

N – максимально возможное число наблюдений или выборок (250 рабочих дней в году).

При проведении исследования был подвергнут анализу нормативный период, для которого можно полно отразить закономерности предъявления грузов ТОУП, а также учесть влияние других факторов, определяющих ритм отправления вагонов.

На рисунке 1 показана вероятность фактического отправления вагонов, загруженных грузами ТОУП. Из рисунка видно, что отправление вагонов с такими грузами с исследуемых предприятий производится крайне неравномерно. Заметна тенденция отставания темпов отправления от средних размеров в первые декады месяца и его возрастание к концу месяца.

Из приведенной гистограммы (рисунок 2) следует, что наиболее частым является отправление 4-5 вагонов в сутки, тогда как среднесуточное их отправление по данному кварталу составляет 2,43 вагона. Наиболее частыми явились случаи, когда за сутки с исследуемой станции погрузки не отправлялось ни одного вагона. Нередки случаи, когда отправляется по одному, по два, по три вагона в сутки. Максимально отправлялось в сутки 9 вагонов с грузами ТОУП.

Перевозка грузов ТОУП по железным дорогам вызывает снижение в перерабатывающей способности сортировочных станций. Концентрация вагонов с грузами ТОУП в меньшем количестве поездов, поступающих на сортировочные станции, позволяет сократить потери по их переработке. Наиболее благоприятным ритмом отправления грузов ТОУП применительно к исследуемой станции явились группа из 4-5 вагонов. Данный объем работы освоен отправителем и наиболее часто осуществляется практически и, следовательно, устраивает и грузополучателя. При плане в рассматриваемом квартале 234 вагона, погрузку и отправление групп из 5 вагонов, загруженных такими грузами, с данного предприятия можно предусмотреть только в 18-20 днях текущего квартала. Поэтому в данном случае оптимальная

отгрузка таких грузов будет осуществляться через 4-5 дней, что в конечном итоге позволит концентрировать отгрузку этих грузов и осуществлять также концентрированное поступление их на сортировочные станции.

Согласно требованиям ПТЭ вагоны с грузами ТОУП могут быть пропущены через сортировочную горку только с маневровым локомотивом. Поэтому при надвиге состава на горку приходится приостанавливать роспуск, отставляя вагоны в специальные тупики, либо «снимая» их подгорочными локомотивами и осаживая на свободные пути. Если осаживание производится на свободный конец пути, занятого вагонами, то требуется дополнительный заезд маневровым локомотивом со стороны горки и перестановка вагонов на специализированный путь под накопление.

Процесс накопления вагонов для отправления в поездах также имеет свою специфику. На сортировочных станциях осуществляется, в основном, два метода работы с грузами ТОУП. Первый – когда вагоны сразу поступают под накопление на путь, соответствующий установленному планом формирования назначению. В этом случае время нахождения их под накоплением не имеет существенного отличия от средних показателей в целом для всей сортировочной станции. При втором методе вагоны с грузами ТОУП подаются на специально выделенный путь, ожидают накопления состава соответствующего назначения, затем подаются в готовый состав. Таким образом, пропуск вагонов с грузами ТОУП через сортировочные станции требует производства дополнительной маневровой работы и повторной переработки вагонов при остановке работы сортировочных горок, что связано со значительными дополнительными эксплуатационными расходами и отрицательно влияет на уровень перерабатывающей способности станций.

Для установления показателей закона распределения поступления вагонов ТОУП на сортировочную станцию необходимо определить, сколько значений интервалов нужно иметь, чтобы получить достаточно хорошие характеристики. Для предварительного определения числа наблюдений была применена формула

$$n = \frac{\lg(1 - \beta)}{\lg(1 - p)}, \quad (2)$$

где β – принятый уровень достоверности;

p – верхняя граница определяемой малой вероятности.

Для примера надежность принималась 95% ($\beta = 0,95$), верхняя граница наименьшей вероятности – 0,02 ($p = 0,02$).

Тогда число наблюдений получено

$$n = \frac{\lg(1 - 0,95)}{\lg(1 - 0,02)} = \frac{\lg 0,05}{\lg 0,98} = \frac{-1,3010}{-0,0085} = 148.$$

Таким образом, для установления показателей закона распределения поступления вагонов ТОУП на сортировочную станцию необходимо иметь 148 значений интервалов, вероятность которых $p < 0,02$.

На рисунке 3 представлены кривые плотности распределения интервалов прибытия поездов с грузами ТОУП на одну из сортировочных станций рассматриваемого полигона сети. Минимальные интервалы имеют сравнительно малую вероятность, параметры которых

могут иметь только положительные значения. В частности, этим законом описывается распределение промежутков времени между поступлением событий, подчиняющихся закону распределения Пуассона. Аналогичная закономерность поступления поездов с грузами ТОУП наблюдалась и по другим сортировочным станциям региона.

Установление закономерности облегчает дальнейшее использование полученных данных. Это позволит планировать работу сортировочной станции на ближайшую перспективу (3, 6, 12 ч) и производить необходимые расчеты.

На всех сортировочных станциях региона Урал-Сибирь-Дальний Восток время нахождения вагонов с грузами ТОУП, как в зимние, так и в летние месяцы превышает достигнутые средние простоя вагонов с переработкой. Завышение составляет от 10 до 30%. Поезда, в которых прибывают вагоны с грузами ТОУП, перепростаивают в среднем на 20% больше средних значений нахождения поездов в парке прибытия. Аналогичная картина происходит с простоем под накоплением вагонов, загруженными грузами ТОУП. Так простой под накоплением вагонов с этими грузами превышает среднее значение на всех сортировочных станциях. Это обстоятельство в равной степени относится к простою в парках отправления готовых поездов с грузами ТОУП, который также оказался выше средних значений.

Таким образом, пропуск через сортировочные станции вагонов ТОУП вызывает замедление их продвижения, увеличивает эксплуатационные расходы, что отрицательно влияет на уровень перерабатывающей способности сортировочных станций.

Входящий поток представляет собой совокупность требований, которые поступают в систему и нуждаются в обслуживании. Процесс поступления их в систему массового обслуживания, которой в данном случае является сортировочный комплекс (парк прибытия, горка, сортировочный парк, пути накопления, выходные участки), является вероятностным, и промежутки времени между наступлением событий (прибытие поездов с грузами ТОУП на сортировочные станции) можно рассмотреть как пуассоновский поток, в котором вероятность поступления в промежуток времени t числа требований вагонов с грузами ТОУП равно K , задается формулой Пуассона

$$P(t) = \frac{(\lambda t)^K}{K!} \exp(-\lambda t), \quad (3)$$

где $P(t)$ – вероятность поступления K_i вагонов с грузами ТОУП на сортировочные комплексы за промежуток времени от 0 до t ;

λ – плотность потока (среднее число вагонов с грузами ТОУП, поступающих в единицу времени).

Расчеты показали, что рассматриваемый процесс является системой массового обслу-

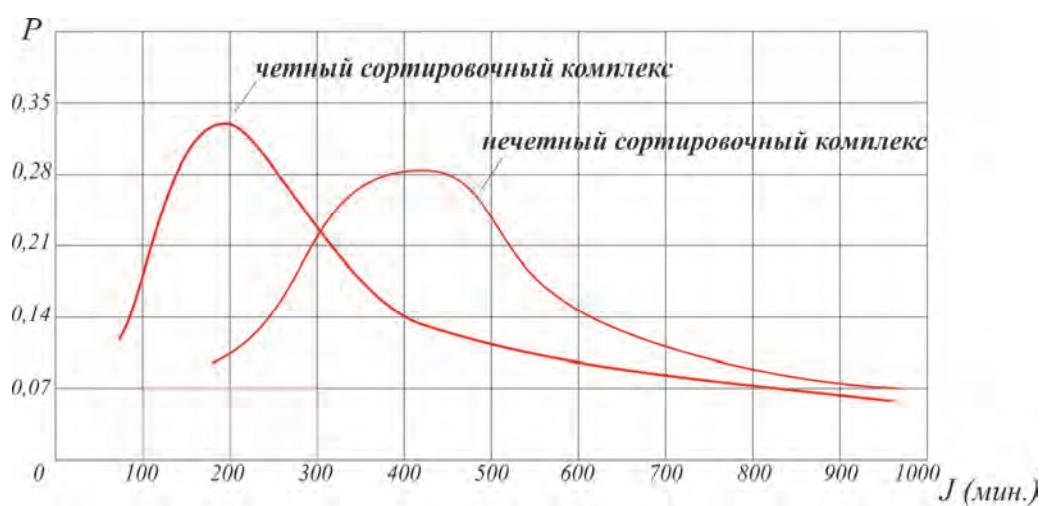


Рисунок 3 – Кривые плотности распределения интервалов прибытия поездов с грузами ТОУП на сортировочную станцию

живания с ожиданием, то есть поступившие в систему требования (поезда с вагонами, загруженными грузами ТОУП) ожидают своей очереди (разомкнутая система).

На загруженных сортировочных горках обычно работает два и более маневровых локомотива $M_r \geq 2$. Каждый из них на расформирование одного состава затрачивает в среднем времени t_{pf} , равное сумме среднего времени на роспуск состава t_p и среднего дополнительного времени t_δ , отнесеного на один расформированный состав. На основе исследования распределения минимума $M_r = 1$ значений дополнительного времени t_δ , как случайных величин по моментам начала расформирования очередного состава, выведены выражения для расчета средней величины t_e^M и коэффициента вариации C_r горочного интервала в зависимости от M_r , t_p , t_δ и суммы времени на заезд и надвиг $\tau_\delta = \min t_\delta$

$$t_e^M = f(M_r, t_p, t_\delta, \tau_\delta); \quad (4)$$

$$C_r = f_1(M_r, t_p, t_\delta, \tau_\delta). \quad (5)$$

Как отмечалось ранее, переработка вагонов с грузами ТОУП на сортировочных станциях вызывает перерывы в работе сортировочных горок в связи с необходимостью перестановки вагонов в специальные горочные тупики или «снятие» их подгорочным локомотивом со стороны сортировочного парка. Это также требует повторного занятия горки для постановки вагонов с грузами ТОУП на путь накопления. При этом происходят потери перерабатывающей способности сортировочного комплекса, которые могут быть определены по формуле

$$\Delta U_{\text{потерь}}^{c/p} = \frac{\Delta t_{\text{тоуп}} R_{\text{тоуп}} m_{cp}}{t_e}, \text{ вагона,} \quad (6)$$

где $\Delta t_{\text{тоуп}}$ – дополнительные затраты времени на обработку одного вагона с грузами ТОУП на сортировочных горках, $\Delta t_{\text{тоуп}} = 5$ мин./вагон;

$R_{\text{тоуп}}$ – количество вагонов с грузами ТОУП, выявленных по результатам наблюдений в прошлые периоды за сутки, $R_{\text{тоуп}} = 3$ вагона;

m_{cp} – средний состав грузового поезда, прибывшего в расформирование, $m_{cp} = 70$ вагонов;

t_e – горочный технологический интервал между расформированием составов на данном сортировочном комплексе, $t_e = 20$ мин.

Таким образом

$$\Delta U_{\text{потерь}}^{c/p} = \frac{5 \cdot 3 \cdot 70}{20} = 53 \text{ вагона.}$$

Возникновение на сортировочных станциях аварийных ситуаций может привести к тяжелым последствиям (разрушениям жилых и промышленных объектов, гибели или травмирования людей, к серьезным экологическим катастрофам).

Для совершенствования технологии перевозки грузов ТОУП необходимо найти такие технические решения, которые бы исключили попадание данных грузов в переработку на сортировочные станции, являющиеся важнейшими стратегическими объектами, выход из строя которых чреват крупными потерями в целом для всей транспортной системы.

Для повышения безопасности, уменьшения потерь вагонного парка и перерабатывающей способности станций при организации перевозок грузов ТОУП необходимо сократить их отрицательное влияние на эксплуатационную работу сортировочных станций за счет концентрации вагонопотоков с этими грузами и организации их перевозки между узлами в специализированных поездах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Правила перевозок опасных грузов по железным дорогам. -Новосибирск: Манускрипт, 2010. -527 с.

2 Инструкция по перевозке негабаритных и тяжеловесных грузов на железных дорогах государств-участников СНГ, Латвийской Республики, Литовской Республики, Эстонской Республики. -М., 2013. -192 с.

3 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.

4 Островский, А.М. Об особенностях постановки вагонов с опасными грузами на пути сортировочного парка / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№1. -С. 56-59.

5 Инструкция по движению поездов и маневровой работе на железнодорожном транспорте Российской Федерации. -М., 2012. -200 с.

6 Островский, А.М. О переработке вагонопотоков с опасными грузами на сортировочных горках / А.М. Островский, А.М. Лисютин // Труды Международной научно-практической конференции «Транспорт -2013» / Рост. гос. ун-т. путей сообщения. - Ростов н/ Д, 2013. -С. 300-301.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: опасные грузы, тяжеловесные грузы, длинномерные грузы, железная дорога, вагоны, станции, сортировочные горки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Островский Анатолий Михайлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Лисютин Антон Михайлович, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Савченко

MANAGEMENT TOOLS OF CONTROL AND MECHANISMS OF ECONOMIC STIMULATION OF ENVIRONMENTAL ACTIVITIES
Siberian state transport university

E.A. Savchenko

The transition to a market economy involves making limited ecological framework for possible development options . Where as in the past the «ecological price» of a possible economic mistakes hadn't fatal consequences in terms of stability of the environment and weakness of economic impacts due to the underdevelopment of material - technical base , but now the situation has changed fundamentally . And possible destruction of the environment, ultimately will destroy itself and the economy, as well as the market.

Keywords: economic incentives, costs, fines, fees, environmental protection measures

Переход к рыночным отношениям предполагает задание ограниченных экологических рамок для возможных вариантов развития. Если в прошлом «экологическая цена» возможной экономической ошибки не имела непоправимых последствий в условиях стабильности окружающей среды, относительной слабости экономических воздействий вследствие неразвитости материально-технической базы, то теперь ситуация принципиально изменилась. И возможное разрушение природной среды, в конечном счёте, разрушит и саму экономику, а также рынок.

Системы управления природоохранной деятельностью различных стран развивались под воздействием экономических, исторических, политических, этнокультурных и других факторов. Вследствие этого в разных странах используются различные инструменты управления природоохранной деятельностью [1].

Российский механизм управления природоохранной деятельностью имеет в качестве своих истоков механизм, который сформировался в 70-80-е гг. XX века. Наиболее знаменательным событием этого периода было принятие серии законодательных актов. Именно в этот период времени сформировалась административная система управления природопользованием. В то же время произошло другое знаменательное событие, в ряде регионов страны в порядке эксперимента были введены платежи за загрязнение окружающей среды. Данное событие положило начало формированию системы экономических методов управления природоохранной деятельностью [1].

Нами выделены три основные группы методов управления эколого-экономической политики: административные, экономические, моральные (рисунок 1) каждый из которых имеет положительные, так и отрицательные стороны.

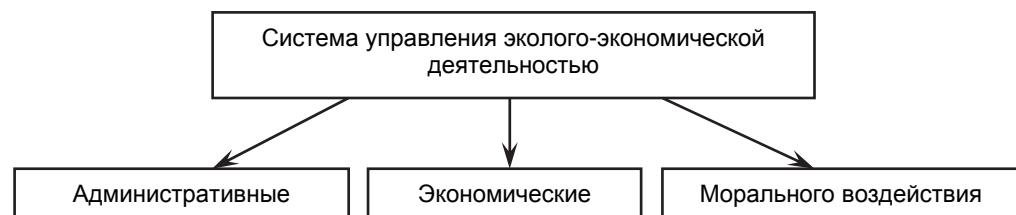


Рисунок 1 – Классификация методов эколого-экономического управления

Регулирование отношений в области охраны окружающей природной среды только путем применения административно-правовых методов воздействия на основе запретов и ограничений, а также мер административного и уголовного наказания не приносит ожидаемого

эффекта. Включение средств экономического стимулирования в регулирование экологических отношений должно привести к большей заинтересованности предприятий или любых других хозяйственных объектов в проведении природоохранных мероприятий, внедрении ресурсосберегающих технологий [2].

Существенное значение для второй группы методов управления рационального природопользования и охраны окружающей среды должно иметь экономическое стимулирование.

Существенное значение для второй группы методов управления рационального природопользования и охраны окружающей среды должно иметь экономическое стимулирование.

Сущность экономического стимулирования природоохранной деятельности заключается в создании у природопользователей непосредственной заинтересованности в осуществлении мер природоохранного характера [3].

Принципы экономического стимулирования выработаны практикой. К ним можно отнести:

- комплексность стимулирования, означающую обязательность стимулирования операций технологических процессов, если они имеют целью ресурсосбережение и проводятся экологически приемлемыми методами, а также и собственно природоохранных мероприятий (утилизация отходов, строительство очистных сооружений в целях предотвращения загрязнения водных источников, атмосферы и др.);

- соблюдения баланса между экономическим стимулированием и экономическими санкциями, то есть между позитивными и негативными мерами воздействия на природопользователей;

- сочетание стимулирования на различных уровнях экономического механизма;

- увязка стимулирования с другими элементами управления природопользования и охраны природной среды: планированием, регулированием, санкциями. Экономическое стимулирование играет важную роль, но оно не панацея, и применяемое отдельно, в отрыве от других элементов, не даст того эффекта и не оправдает тех надежд, которые с ним связываются;

- сочетание материального и морального стимулирования, как отдельных работников, так и предприятия [4].

Для большей эффективности экономические инструменты должны использоваться в тех областях экономики, где их применение потребует меньших затрат по сравнению с прямым регулированием для выполнения одинаковых природоохранных задач.

На данный момент в мире насчитывается свыше восьмидесяти различных экономических инструментов. На наш взгляд можно выделить следующие инструменты формирующиеся экономического механизма природопользования, в составе которых могут быть выделены рыночные и финансово-кредитные [4].

Рыночно ориентированный инструмент включает в себя:

- природно-ресурсные платежи за загрязнение природной среды;
- рыночные цены на природные ресурсы, поступающие в экономический оборот;
- купля-продажа прав на загрязнение природной среды;
- залоговая система;
- интервенция с целью коррекции рыночных цен и поддержки производителей (в том числе на рынках рециклируемых отходов).

В состав финансово-кредитных инструментов входят:

- займы, субсидии и т.п.;
- режим ускоренной амортизации природоохранного оборудования;
- экологические и ресурсные налоги;
- система страхования экологических рисков.

Большинство инструментов уже показало свою экологическую эффективность во многих странах мира.

Важным инструментом в системе экономического механизма природопользования являются платежи за загрязнение природной среды [1].

Они призваны компенсировать эколого-экономический ущерб, наносимый предприятиями и организациями в ходе деятельности. Необходимо подчеркнуть, что сейчас платежи компенсируют лишь незначительную часть ущерба. Платежи за загрязнение являются средством наказания предприятий-загрязнителей и средством реализации принципа «загрязнитель платит».

Россия – одна из первых стран в мире, где были введены платежи за загрязнения (ян-

варь 1991 г.). Было введено три вида платы:

- за выбросы в атмосферу загрязняющих веществ;
- за сброс в водный объект или на рельеф местности загрязняющих веществ;
- за размещение отходов [3].

В зависимости от степени воздействия на окружающую среду устанавливаются два вида нормативов платы: за предельно допустимые выбросы (сбросы, размещение отходов) загрязняющих веществ в природную среду (в рамках установленных нормативов) и за превышение этих показателей. Следует отметить, что в последнем случае платежи возрастают в несколько раз. Существенным моментом является и механизм образования источников платежей. Платежи в пределах нормативов загрязнения включаются в себестоимость и тем самым оплачиваются потребителем.

Всё выше сказанное позволяет сделать вывод, что в России сделаны первые шаги по использованию экономических методов управления природоохранной деятельностью на предприятиях. Сейчас платежи предприятий невысоки. Корректировка ставок платежей не успевает за инфляцией. Поэтому ещё рано говорить о стимулирующем значении данного механизма платежей. Однако уже есть положительный результат - это воздействие на институциональную систему управления природопользования: улучшилась система контроля за выбросами, предприятия стали привыкать к мысли, что за загрязнение окружающей среды нужно платить. Современная система платежей – начало пути к системе, когда виновник загрязнения будет платить за право пользования природным потенциалом [4].

Очевидные проблемы применения как административно-контрольных, так и экономических инструментов предопределили с учетом новых экологических вызовов продолжение поиска адекватных механизмов управления. В связи, с чем учитывались следующие факторы и обстоятельства:

– целесообразность перехода от механического противопоставления административно-контрольных и экономических инструментов управления к их совместному применению с учетом того, что природа многих из них двойственна. Например, штрафных санкций за сверхнормативное загрязнение среды, которые по своей сути являются, административными инструментами, но обосновываемых с эколого-экономических позиций, с учетом экономического ущерба, наносимого несанкционированной хозяйственной деятельностью окружающей среды. Теоретические исследования и анализ практического опыта позволяют расширить представления об оценке и отборе инструментов экологической политики. На теоретико-прикладном уровне при оценке и отборе инструментов экологической политики также учитываются следующие дополнительные, факторы и обстоятельства:

- административное устройство и система органов власти соответствующей страны;
- административная культура и реакция общества на государственные интервенции;
- степень приоритетности экологических проблем в обществе и общественная поддержка экологической политики;
- базисная концепция экологической политики (ориентированность на ресурсы или качество).

На данный момент в развитых странах возник вопрос поиска новых подходов к инструментам экологического регулирования и стимулирования [1].

Таким образом, необходима концепция эколого-экономического перехода, моделирования возможных направлений формирования устойчивого развития. Все принимаемые экономические решения должны обладать высокой степенью экологической надежности и безопасности. Очевидно, что в условиях конкуренции, массовых банкротств, ужесточения финансовой ситуации для предприятий (вне зависимости от их типа – государственных, акционерных, частных) одной из первых жертв борьбы за выживание станет природа. Предприятия стремятся экономить на природоохранных мерах, приобретении экологического оборудования, так как затраты на природоохранные мероприятия не увеличивают выпуск основной производственной продукции. Скрываются выбросы и сбросы загрязняющих веществ, захоронение отходов для того, чтобы избежать платы за них, а также штрафов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Бобылев, С.Н. Экономика природопользования: учебник / С.Н. Бобылев, А.Ш. Ходжаев. -М.: ИНФА-М, 2008. -501 с.

2 Чепурных, Н.В. Экономика природопользования: эффективность, ущербы, риски / Н.В. Чепурных, А.Л. Новоселов, Л.В. Дунаевский. -М.: Наука, 1998. -253 с.

3 Балоцкий, О.Ф. Экономика и качество окружающей среды / О.Ф. Балоцкий, Л.Г. Мельник, А.Ф. Яковлев. -М.: Гидрометеоиздат, 1984. -189 с.

4 Пахомова, Н.В. Экологический менеджмент: учеб. пособие для студентов / Н.В. Пахомова, А. Эндерс, К. Рихтер. -СПб.:

Питер, 2003. -521 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: экономическое стимулирование, затраты, штрафы, платежи, природоохранные мероприятия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Савченко Елена Александровна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

НОРМИРОВАНИЕ РАБОТНИКОВ УМСТВЕННОГО ТРУДА ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

А.В. Давыдов, Е.А. Сиденкова

RATIONING KNOWLEDGE WORKERS OF RUSSIAN RAILWAYS

Siberian state transport university

A.V. Davyдов, E.A. Sidenkova

In open society «Russian Railway», owing to the specificity, the category of workers of the most difficult kind of work – intellectual increases. In their competence there are direct empirical functions activity on an establishment of certain regulations and procedures on various stages of decision-making, working out and designing of technological and labour processes, systems of planning, stimulation and control that creates preconditions for rationing of their labour expenses and working hours effective utilisation.

Keywords: brain work quota setting, labour resources, efficiency

В ОАО «РЖД», в силу своей специфики, увеличивается категория работников наиболее сложного вида труда – умственного. В их компетенции находятся прямые эмпирические функции деятельности по установлению определенных регламентов и процедур по различным стадиям принятия решения, разработка и конструирование технологических и трудовых процессов, систем планирования, стимулирования и контроля, что создает предпосылки для нормирования их трудовых затрат и эффективного использования рабочего времени.

Одним из главных факторов обеспечения устойчивого экономического развития ОАО «РЖД» есть сокращение издержек в расчете на единицу реализуемой продукции при обеспечении ее высокого качества. Реализация данного фактора возможна при более полном учете и удовлетворении потребностей работника в сфере труда по его содержательности, удовлетворенности, условиям труда, затратам труда и его оплате. Особое место в решении проблемных задач в сфере организации труда занимает его нормирование.

Как рассчитать норму времени (выработка) для работника, какой метод нормирования применить для инженера, экономиста, технолога, поездного диспетчера и других категорий работников умственного труда, в значительной степени зависит от конкретных условий труда, категории работника и занимаемой им должности, типа производства, степени механизации трудоемких производственных процессов, форм организации, и, в конечном счете, регламентации комплекса процедур производственного процесса.

В ОАО «РЖД», в силу своей специфики, увеличивается категория работников наиболее сложного вида труда – умственного. В их компетенции находятся прямые эмпирические функции деятельности по управлению определенных групп и категорий работников, установлению определенных регламентов и процедур по различным стадиям принятие решения, разработка и конструирование технологических и трудовых процессов, систем планирования, стимулирования, надзора и контроля.

Только в экономических теориях явно выражена разница между работниками физического и умственного труда. Экономическая теория и, в большой степени практика, рассматривают физический труд как затратный. Умственный же труд, если мы хотим сделать его производительным, должен рассматриваться как интеллектуальный, составляющий основной капитал компании. Работники умственного труда владеют своими, самыми необходимыми средствами производства, то есть теми знаниями, которые хранятся у них в голове. Это абсолютно «портативный» и чрезвычайно емкий вид основного капитала [3].

Возможно, не обо всех работниках умственного труда можно сказать, что они нужны работе больше, чем работа им. Но в подавляющем большинстве случаев взаимоотношения работников интеллектуального труда с организацией, обеспечивающей их работой, характеризуются тем, что они заинтересованы друг в друге в равной степени.

В последние сто лет, то есть в XX веке, лидерство в мировой экономике в большой сте-

пени зависело от умения добиться высокой производительности физического труда. Сегодня это может сделать любая страна, любая отрасль, любая компания – с помощью методов, которые были разработаны нынешними развитыми странами и внедрены в повседневную практику за те 120 лет, которые прошли с того времени, когда Фредерик У. Тейлор впервые взялся за изучение физического труда. И даже сегодня, кто угодно и где угодно, может применить эти методики для обучения персонала, организации труда и повышения производительности. Возрастающая роль работников умственного труда и их производительности приведет к фундаментальным изменениям в структуре и природе нашей экономической системы [4].

В отличие от рабочих, работники умственного труда сами непосредственно не участвуют в производстве материальных ценностей, однако они обеспечивают необходимые организационно-технические и социально-экономические условия для эффективного труда людей, занятых выполнением производственных операций. В процессе трудовой деятельности они используют информацию, характеризующую состояние производственного процесса на управляемом или обслуживаемом ими объекте и преобразуют ее в соответствующие решения как в форме документов (чертежей, технологических карт, планов, распоряжений и др.), так и в устной форме. Информационный характер непосредственного предмета и продукта труда служащих обуславливает принципиальное отличие в содержании и результатах их деятельности. Содержание труда данной категории работников постоянно изменяется под воздействием организационных и технических факторов.

Особенности труда специалистов департаментов, функциональных служб и отделов необходимо учитывать при разработке мероприятий по совершенствованию организации труда этой категории работников, в частности при разделении и кооперации труда, организации рабочих мест и трудового процесса, нормирования и его оплате [1].

Для повышения эффективности работников умственного труда большое значение имеет организация трудового процесса. С этой целью разрабатывается технология выполнения работ(процедур) по функциям управления, устанавливается перечень решаемых задач, содержание работ по каждой задаче, порядок и методы их осуществления, то есть типовой регламент реализации функциональных обязанностей специалиста.

Такой регламент предусматривает определенный порядок и последовательность выполнения служащими комплекса операций по обработке конкретных документов с целью получения определенных по форме и содержанию результатов. Она содержит графическое изображение порядка прохождения документов и выполнения операций с ними, комплект форм документов, маршрутно-технологические или должностные операционные карты. Разработка процедур — важнейший этап проектирования трудового процесса функциональных исполнителей (рабочники умственного труда). Процедуры оформляются в виде регламентов (рисунок 1), включающих в себя следующие разделы:

1 Перечень задач, подлежащих решению в рамках данного регламента и рекомендации по созданию необходимых условий, гарантирующих их качественное и своевременное исполнение.

2 Описание технологии всей работы в целом, графическое изображение алгоритма выполнения работы по всем операциям в их технологической последовательности с указанием: наименования этапов, операций и их трудоемкости; должности, численности исполнителей; поступающих (входных) документов; разрабатываемых и направляемых за пределы подразделения (выходных) документов.

3 Описание технологии выполнения частей работы на каждом ее этапе, с расчленением каждой из них на повторяющиеся действия; должностей с указанием численности исполнителей и трудозатрат по каждому действию; получаемых исходных данных (входных); разрабатываемых документов, направляемых за пределы подразделения (выходных).

4 Описание технологии важнейшей (ключевой) операции с указанием трудоемкости каждого, а также анализ затрат времени исполнителей и предложения по рационализации трудового процесса.

5 Рационализации трудового процесса и перечень мероприятий, направленных на сокращение трудоемкости элементов трудового процесса (операций, действий), а также итоговые данные по сокращению трудозатрат работников отдельных должностей.

Регламенты создаются на комплексы работ, реализующие функцию или самостоятельную функциональную задачу, на отдельные работы и этапы работ, отдельные важнейшие операции.

Важнейшим направлением работы по совершенствованию организации нормирования труда является создание системы определения трудоемкости работников умственного труда (специалистов, руководителей, менеджеров, госслужащих и т.д.) которая до настоящего времени осуществляется по функциональному и профессионально-квалификационному признаку.



Рисунок 1 – Поэтапная регламентация и реализация деловых процедур

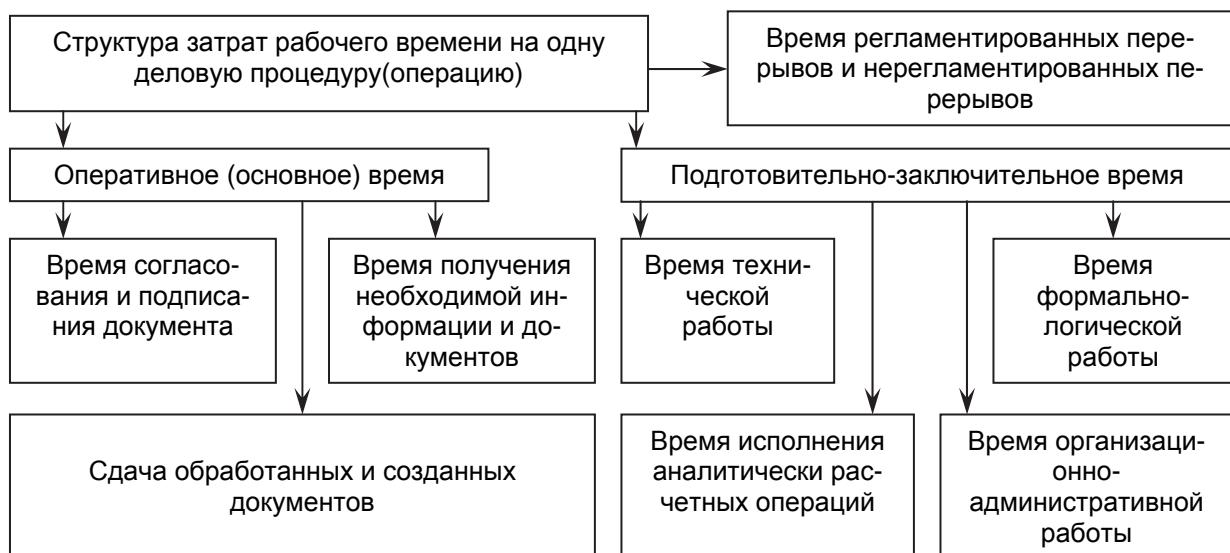


Рисунок 2 – Структура затрат времени специалиста

Нормативная регуляция затрат труда, трудоемкости работ и процедур в условиях интенсификации железнодорожного бизнеса для категорий работников умственного и управ-

ленческого труда в ОАО «РЖД» должна базироваться на следующих основных принципах:

1 Измерение затрат труда каждого работника не зависимо от квалификационной категории выполняется преимущественно методами прямого нормирования, позволяющими определять трудоемкость работ и заданий, устанавливать оптимальную загрузку в течение рабочего дня, тем самым повышая эффективность труда и увеличение его оплаты.

2 Соответствие необходимых затрат труда, при фактически сложившихся, конкретных организационно-технических условиях производства для достижения высокого качества разрабатываемых норм, с учетом ориентации их на общественно необходимый уровень издержек.

3 Устанавливаемые нормы трудоемкости должны учитывать социальные, психофизиологические и половозрастные особенности работника, что позволит обеспечить результативность его труда и сохранить работоспособность и здоровье.

4 Норматив регламентированной численности работников, необходимой для качественного выполнения определенного вида и объема инженерных и управлеченческих действий в определенных организационно-технических условиях, необходимо рассчитывать по фактограмм, которые оказывают решающее влияние на уровень производственных издержек. Функциональное разделение труда инженеров и специалистов, служащих заключается в организации управления, планирования, координации и оперативном управлении трудом [2].

Профессионально и квалификационное разделение работников умственного труда должно быть основано на распределении обязанностей и разграничении ответственности между работниками с учетом занимаемых должностей, степени сложности поручаемых работ, специальности и квалификации работников в целях обеспечения эффективного труда на основе норм затрат труда и должностными инструкциями. Должностные инструкции разрабатываются в соответствии с квалификационными характеристиками, предусмотренными Квалификационным справочником должностей руководителей, специалистов и служащих.

Учитывая многообразие показателей, характеризующих результаты труда различных категорий работников, для специалистов и служащих принимаются в обязательном порядке три самых общих признака требований: количество выполненных плановых и внеплановых работ (заданий), качество выполненных работ (заданий), соблюдение сроков выполнения работ (заданий).

Критерии, характеризующие сложность труда и их качественная оценка должны быть едины и увязаны по этим группам работников. Это позволит более объективно принимать решения по установлению соотношений в оплате труда, так как задача сокращения издержек на рабочую силу включает в себя острую необходимость сокращения управлеченческих издержек.

Содержание труда этих категорий работников определяется сущностью обособившихся функций по координации, планированию, контролю, подготовке, организации и управлению производством. Поэтому основным объектом нормирования являются функции управления, каждая из которых характеризуется определенным составом работ, объединенных общностью факторов целевого направления в системе управления и трудоемкостью выполнения.

В то же время результаты труда специалистов, менеджеров и руководителей в целом должны оцениваться не по количеству изданных распоряжений или документов, а по их влиянию на деятельность всего коллектива конкретного подразделения ОАО «РЖД». Отсюда вытекает весьма существенное специфическое требование к решению вопросов нормирования труда предварительный анализ форм документов, методов и средств выполнения различных трудовых функций с целью выявления и устранения структурных и документационных излишеств, совершенствования организационных форм управления деятельностью железнодорожного транспорта в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Рофе, А.И. Организация и нормирование труда: учеб. для вузов / А.И. Рофе. -М.: МИК, 2011. -402 с.

2 Бычин, В.Б. Организация и нормирование труда / В.Б. Бычин, С.В. Малинин; под ред. Ю.Г. Одегова. -М.: Экзамен, 2007. -637 с.

3 Рой, О.М. Теория управления: учеб. пособие / О.М. Рой. -СПб.: Питер, 2008. -256 с.

4 Управление -это наука и искусство / А. Файоль, Г. Эмерсон, Ф. Тэйлор, Г. Форд. -М.: Республика, 1992.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: организация нормирования умственного труда, трудовые ресурсы, эффективность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Давыдов Анатолий Вячеславович, докт. экон. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Сиденкова Елена Анатольевна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИНФРАСТРУКТУРУ ОБЪЕКТОВ ВНУТРЕННЕГО ВОДНОГО ТРАНСПОРТА

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

С.Н. Масленников

FEATURES OF AN ESTIMATION OF INVESTMENT IN INFRASTRUCTURE OBJECTS OF INLAND WATER TRANSPORT

Novosibirsk state academy of water transport

S.N. Maslennikov

The article focuses on methodological approaches to the evaluation of investments in transport infrastructure. Given the peculiarities related (multimodal and indirect) effects in the infrastructure of inland waterway transport.

Keywords: investments, water transport, infrastructure

Определены методологические подходы к оценке инвестиций в инфраструктуру транспорта. Изложены особенности сопутствующих (мультимодальных и косвенных) эффектов в инфраструктуру внутреннего водного транспорта.

11 июня 2014 г. распоряжением Правительства Российской Федерации от №1032-р в Транспортную стратегию Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденную распоряжением Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 г. №1734-р, внесены существенные изменения. Эти изменения особое значение придают роли государства в развитии транспорта. В качестве примера приведу лишь одну выдержку из названного документа: «Важнейшим стратегическим направлением развития транспортной системы является сбалансированное опережающее развитие инфраструктуры транспорта. Реализация этого направления означает согласованное комплексное развитие всех элементов транспортной инфраструктуры на основе построения транспортно-экономического баланса, развития системы статистического учета, использования математических методов прогнозирования и моделирования для исследования потребностей секторов экономики и населения в услугах транспорта, динамики грузовой базы, а также анализа вариантов развития транспортной системы». Таким образом, базовые положения теории транспортных процессов вновь нашли отражение в нормативно-правовом государственном акте.

Для реализации заявленных целей опережающее развитие должны получить исследования по оценке эффективности инвестиционных решений в сфере транспорта, созданы новые методологии, ориентированные на достижение сбалансированного развития транспортной системы как составляющей части экономики страны.

Развитие рыночных отношений в России характеризуется все более широким использованием терминов «инвестиции», «инвестиционная деятельность», «инвестиционная привлекательность», «инвестиционная стратегия» и целым рядом других, связанных с инвестиционной сферой.

В своем развитии теория инвестиций прошла несколько этапов. Начальным можно считать работы австрийской экономической школы (Г. Бем-Бавери). В 1920-30 гг., в период зарождения теории финансов как науки, появились работы И. Фишера по теории процентной ставки. Теоретический подход к оценке капитальных активов был предложен в работах Ф. Вильямса. Д. Кейнс в 1936 г. выделил мотивы, пробуждающие хранить сбережения в денежной (ликвидной) форме. К ним он отнес трансакционный мотив, определяемый потребностью покупать товары, услуги и т.д., спекулятивный мотив – стремление выгодно разместить сбережения, мотив предосторожности, связанный с риском потери капитала, вложенные в ценные бумаги. Определив эти факторы, Кейнс ввел в экономическую теорию проблемы формирования оптимального портфеля.

До 1980 гг. в отечественной экономической литературе термин «инвестиции» для анализа процессов воспроизводства практически не использовался, инвестиции в большей части отождествлялись с капитальными вложениями.

Значительный вклад в развитие теоретических основ капитальных вложений внес возглавляемый Т.С. Хачатуровым Научный Совет АН СССР по проблеме «Экономической эффективности основных фондов, капитальных вложений и новой техники». Т.С. Хачатуров дал следующее определение: «Под капитальными вложениями понимаются затраты на воспроизводство основных фондов, их увеличение и совершенствование».

Т.С. Хачатуров разделял капитальные вложения экстенсивного и интенсивного типа. Вложениями экстенсивного типа он называл вложения, имеющие целью увеличение объема производства на базе существующей техники и технологии. Под капитальными вложениями интенсивного типа он понимал те вложения, которые предусматривают внедрение новой или улучшенной техники и технологии, использование внутренних резервов производства, уменьшение потерь.

В Типовой методике определения экономической эффективности капитальных вложений, вышедший в 1994 г., а также в других методических рекомендациях инвестиции рассматривались уже не только как вложения в основные фонды, но и как вложения в основные средства. В соответствии с этим сложились затратный и ресурсный подходы к определению экономической сущности инвестиций и соответствующие подходы к их оценке. При затратном подходе инвестиции рассматривались как затраты на простое и расширенное воспроизведение основных фондов.

Основой ресурсного подхода стало выделение ресурсов как составляющего элемента инвестиций. Последние рассматривались как финансовые средства, необходимые для воспроизводства основных фондов. Недостатком обоих подходов является статичная характеристика объекта анализа, недостаточное исследование инвестиций как целостного процесса.

В Федеральном законе от 25 февраля 1999 г. №39-ФЗ «От инвестиционной деятельности в РФ, осуществляющейся в форме капитальных вложений» дается следующее определение инвестиций: «Инвестиции – это денежные средства, ценные бумаги, иное имущество, в том числе имущественные права, иные права, имеющие денежную оценку, вкладываемые в объекты предпринимательской и (или) иной деятельности в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта, а инвестиционная деятельность – вложение инвестиций и осуществление практической деятельности в целях получения прибыли и (или) достижения иного полезного эффекта».

В настоящее время общепризнанным является метод оценки эффективности вложения инвестиционного капитала, суть которого заключается в сравнении денежного потока, который формируется в процессе реализации инвестиционного проекта, сложенными средствами. В качестве основных показателей, характеризующих экономическую эффективность денежных средств, направленных на финансирование инноваций и достижений научно-технического прогресса принимаются следующие показатели:

- чистый дисконтированный доход (ЧДД или NPV) – абсолютный показатель, характеризующий масштабы мероприятия и результаты его внедрения в отрасли;
- индекс доходности дисконтированных инвестиций (ИДД) – качественный показатель, характеризующий доходность единицы израсходованных инвестиций;
- срок окупаемости с учетом дисконтирования – дополнительный показатель, характеризующий продолжительность периода до наиболее раннего момента времени в расчетном периоде, после которого текущий чистый дисконтированный доход становится и в дальнейшем остается неотрицательным;
- точка безубыточности – показатель, определяемый для каждого шага расчета, отвечающий условию нулевой прибыли.

Для учета, анализа и повышения эффективности инвестиций необходима их научно обоснованная классификация оценки эффективности. Традиционные оценки эффективности инвестиций учитывают в основном прямые эффекты, связанные с ростом доходов, сокращением затрат, объемом перевозок, удельными показателями, а также повышением загрузки как транспортных средств, так и транспортной инфраструктуры (для внутреннего водного транспорта – порты, путь).

Поскольку транспорт является связующим звеном в логистической цепи метод оценки, учитывающий только прямые эффекты, не дает объективных результатов. Подавляющая часть эффектов от реализации крупных инфраструктурных проектов носит косвенный характер, влияет на экономику опосредованно и с временными лагами. Правильная классификация позволяет не только грамотно определить эффективность, но и анализировать уровень их использования со всех сторон и на этой основе получать объективную информацию для разработки и реализации эффективной инвестиционной политики.

Все эффекты от инвестиций в транспорт, можно условно разделить на прямые и косвенные. Прямые эффекты будут достигаться как на конкретном виде транспорта, так и в целом в транспортной системе страны. Основные мультимодальные эффекты в транспортной

системе страны при инвестировании в инфраструктуру внутреннего водного транспорта:

- формирование федеральных и региональных транспортных сетей;
- оптимизация маршрутов движения различных видов транспорта;
- сохранение дорожного покрытия при разгрузке автодорог от тяжелой автотранспортной техники;
- разгрузка железнодорожных магистралей и высвобождение подвижного состава в пиковые периоды;
- формирование транспортно-логистических узлов и промышленно-логистических центров на базе портов.

Косвенные эффекты распространяются на другие сектора экономики и социальную сферу:

- рост выпуска продукции, вследствие полного удовлетворения потребностей в перевозках;
- снижение транспортных издержек в результате реализации транспортной задачи;
- рост бюджетных расходов;
- повышение энергоэффективности и экологичности транспортной системы, вследствие использования водного транспорта, имеющего преимущества в данном направлении;
- увеличение выпуска продукции предприятий, работающих на инвестиции для водного транспорта;
- повышение транспортной безопасности;
- повышение транспортной доступности для предприятий и организаций;
- вовлечение в оборот естественных транспортных путей;
- укрепление межрегиональных транспортных связей.

Очевидно, что наиболее полный учет мультимодальных и косвенных эффектов позволяет правильно определить вклад внутреннего водного транспорта в социально-экономическое развитие Российской Федерации. При оценке эффективности реализации инвестиционных проектов нужно учитывать не только положительные изменения на смежных видах транспорта, но и в смежных отраслях экономики, а также в отдельных регионах. Косвенные эффекты от реализации инфраструктурных проектов включают мультиплексивные эффекты – рост экономических показателей по цепочкам создания и перераспределения добавленной стоимости.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инвестиции, водный транспорт, инфраструктура

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Масленников Сергей Николаевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

СООТНОШЕНИЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ ФУНКЦИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНСТИТУТОВ НА ТРАНСПОРТЕ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.В. Буровцев

THE RATIO OF REGULATORY AND MANAGEMENT FUNCTIONS OF STATE INSTITUTIONS IN TRANSPORT
Siberian state transport university
V.V. Burovtsev

Participation of the State in the development of the transport services market is determined by a number of instruments. The key success factor is the optimal ratio, sold its regulatory and management functions, which opens up additional reserves of efficiency of government economic policy.

Keywords: Governance and regulation, the ratio of government and market regulators, institutionalism

Участие государства в развитии рынка транспортных услуг определяется рядом инструментов. При этом ключевой фактор успеха – это оптимальное соотношение, реализуемых им регуляторных и управлеченческих функций, что открывает дополнительные резервы эффективности государственной экономической политики.

Социально-экономическое развитие государства во многом определяется эффективностью применения и сочетания различных инструментов государственного участия в развитии рыночной экономики.

Для объективного исследования эффективности институтов государственного управления и регулирования на транспорте необходимо провести определенный экскурс в прошлое нашей государственности // использованы материалы исследователя Владимира Рогозы //. С объединением русских княжеств вокруг города Москвы и утверждением самодержавной власти великого князя на Руси начала создаваться система государственного управления, важное место в которой заняли приказы – ставшие прообразами последующих министерств. В череде свершившихся административных трансформаций, постигших государственные институты, отдельно необходимо выделить транспортную вертикаль. В самом недалеком прошлом именно эта вертикаль власти перешагнула свой двух вековой рубеж развития // в 2009 году российской общественностью широко отмечалось 200-летие образования Управления водяными и сухопутными сообщениями и учреждения Института корпуса инженеров путей сообщения (1809-2009). В данном разделе использована информация Исторической справки Министерства транспорта Российской Федерации //. Первые упоминания об органах государственного управления, связанных с перевозками, относятся к середине XVI века. Это – Ямской приказ, который просуществовал до 1711 г. На его основе образован впоследствии Почтовый департамент (1782 г.). В 1733 г. создана Канцелярия перспективной дороги Москва-Петербург, которая в 1755 г. стала называться Канцелярией строения государственных дорог. Отсюда берет начало орган государственного управления дорожной отраслью. В 1798 г. образован Департамент водяных коммуникаций, что является датой рождения органа государственного управления на речном транспорте. 20 ноября 1809 г. вышел Манифест императора Александра I, которым учреждено Управление водяными и сухопутными сообщениями и Институт корпуса инженеров путей сообщения.

В 1833 г. Главное управление водяными и сухопутными коммуникациями преобразовано в Главное управление путей сообщения и публичных зданий. В 1842 г. в его составе образован Департамент железных дорог. В 1864 г. Институт Корпуса инженеров путей сообщения преобразован в Институт инженеров путей сообщения. В 1865 г. Главное управление путей сообщения и публичных зданий преобразовано в Министерство путей сообщения. Министерство состояло из 4 департаментов: сухопутных сообщений, водяных сообщений, железных дорог, ревизий и отчетов.

В таком виде Министерство путей сообщения просуществовало до 1918 г., когда было преобразовано в Народный комиссариат путей сообщения. В 1931 г. Народный комиссариат путей сообщения, как единый орган управления на транспорте, прекратил существование и разделился на комиссариаты по отдельным видам транспорта. В 1990 г. создано Министерство транспорта РСФСР, которое задумывалось как единый орган государственного управления на транспорте и объединило под своим началом дорожное хозяйство, автомобильный, речной, морской, промышленный транспорт и гражданскую авиацию. В 1991 г. создано Министерство транспорта Российской Федерации. В 1992 г. на базе упраздненного МПС СССР создано Министерство путей сообщения Российской Федерации, как федеральный орган исполнительной власти на железнодорожном транспорте.

Указом Президента Российской Федерации от 9 марта 2004 г. №14 «О системе и структуре федеральных органов исполнительной власти» Министерство транспорта РФ и Министерство путей сообщения РФ упразднены. Одновременно образовано Министерство транспорта и связи РФ. 20 мая 2004 г. Минтрансвязь России преобразовано в Министерство транспорта Российской Федерации и Мининформсвязь России (Указ Президента Российской Федерации от 20 мая 2004 г. №649), 20 мая 2004 г. в России был воссоздан единый федеральный орган исполнительной власти в области транспорта. Таким образом, идея реализации единых комплексных подходов в формировании институциональных основ государственного регулирования, обеспечивающих гармоничное и согласованное развитие всех видов транспорта, доказала свою историческую жизнеспособность. В состав вновь созданного Министерства транспорта вошли ряд федеральных агентств, одной из основных задач которых является оказание государственных услуг. Таким образом, современная система государственных услуг на транспорте стала результатом ряда административных трансформаций новейшей истории развития отечественной системы государственного регулирования.

Вместе с тем, необходимо отметить, что на всем протяжении своего развития, система государственного регулирования неоднократно менялась под воздействием меняющейся парадигмы отечественной экономической системы. Исторически, маятник, символизирующий вес (значимость) присутствия государства в экономике неоднократно колебался: от относительно либерального положения до самого жесткого прямого государственного вмешательства. Эти процессы предопределяли ключевые показатели эффективности администра-

тивной вертикали. Как следует из приведенных выше результатов ретроспективного анализа, не всегда такие административные трансформации имели стройный логический или эволюционный характер. В этой связи значительный научный интерес вызывают труды отечественных исследователей [1, 2], посвященные вопросам трансформации механизмов государственного управления. Действительно развитие институциональных основластной вертикали на транспорте имело колебательно-маятниковый характер. Высшие, или экстремальные точки движения такого маятника, определяющие степень государственного участия в развитии отрасли, можно соотнести с понятиями «регулирование» и «управление».

Несмотря на определенную смежность целевых ориентиров «процесса государственного регулирования» и «процесса государственного управления» в понятийном плане между ними лежит своего рода «пропасть». Радикальное различие двух процессов обуславливается различными фундаментальными подходами к пониманию роли, целей, задач и инструментов воздействия государства на происходящие экономические процессы.

Эффективность *государственного регулирования* – это соотношение издержек и результатов исполнения комплекса, регуляторных мер, действий, применяемых государственным аппаратом для коррекции и определения основных экономических процессов путем формирования нормативно-правовой базы, регламентирующей деятельность хозяйствующих субъектов и институтов, обеспечивающих регулирующее воздействие государства. Необходимо также отметить принципиальный признак действующей системы государственного регулирования – государство максимально дистанцируется от роли непосредственного участника экономических отношений, оно лишь формирует русло для развития макроэкономических процессов, реализации предпринимательской инициативы, возможностей применения непосредственных институтов рыночной саморегуляции. В рамках приведенного определения государство призвано отвечать, прежде всего, за следующие направления:

- фискальную политику;
- монетарную политику;
- регулирование внешней торговли;
- регулирование потоков распределения доходов.

Как известно, современная экономическая наука выделяет следующие методы государственного регулирования:

- Прямые, например контроль над монополиями, экология, разработка стандартов, их поддержание (знаки качества, государственные стандарты);
- Косвенные, например, денежная политика, контроль за доходами, социальная политика.

Государственное регулирование также приобретает различные современные формы: государственные целевые программы (как правило, имеющие приоритетное социальное направление), прогнозирование макроэкономических процессов, моделирование возникающих экономических сценариев развития, ситуаций и пр.

Эффективность институтов *государственного управления* следует понимать как соотношение издержек и результатов непосредственной деятельности органов государственной власти по практическому воплощению выработанного на основе соответствующих процедур политического и экономического курса, в том числе за счет непосредственного управления доминирующими субъектами рынка, как правило, являющихся естественно-монопольными структурами. Иначе говоря, данный вид государственной деятельности подразумевает реализацию государством собственной роли в большей мере как непосредственного участника экономических процессов, нежели как субъекта, определяющего «правила игры», то есть решавшего свои задачи путем формирования институциональных основ рыночной экономики. Данный вид деятельности в последнее время также получил развитие как термин «ручное управление экономикой». Реализация подобных подходов стала предпосылкой развития государственно-монополистических формаций.

Термин «государственное управление» широко используется в отечественной и зарубежной литературе. Но Конституция Российской Федерации 1993 года заменяет этот термин другим – исполнительная власть. Чаще всего органы государственного управления рассматриваются в качестве исполнительного аппарата государственной власти или государственной администрации, являющейся основным звеном практической реализации законодательства, а также иных правовых актов органов государственной власти. Как отмечает Ю.М. Козлов «государственное управление – синоним государственно-управленческой деятельности в широком смысле и форма практической реализации исполнительной власти в

ее собственном смысле» [3]. Как уже отмечалось выше государственно-управленческая деятельность – это есть функционирование субъектов исполнительной власти и иных звеньев государственного управления по реализации их задач и функций. И сегодня происходят явления, свидетельствующие об очередном изменении веса государственного участия. Вместе с тем, необходимо отметить, что между государственным управлением и государственным регулированием нет принципиальных различий по целевому назначению.

По своей сути регулирование непременный элемент государственно – управленческой деятельности, одна из ее функций. В данном случае речь идет о различном, большем или меньшем участии государства в экономических и иных процессах. Приведенные понятия условны, так как «управляя, государство регулирует, а регулируя – управляет». По существу государственное управление – понятие более широкое по сравнению с государственным регулированием. Но в тоже время, государственное регулирование в значительной мере связано с использованием косвенных средств управляющего воздействия, то есть налоговых, льготных и т.п., так называемых «экономических методов управления».

Институт предпринимательства на транспорте – понятие новейшей истории отечественной транспортной отрасли, ключевые условия осуществления предпринимательской деятельности определяются рядом основополагающих нормативно–правовых актов. На практике, контроль государства за состоянием и развитием рынка предполагает комплексное воздействие государственных институтов, при этом ключевым фактором эффективности участия государства является оптимальное соотношение, реализуемых им на практике регуляторных и управленческих функций. Определение оптимального баланса в соотношении указанных функций государства – это приоритетная задача отечественной экономической науки, решение которой открывает значительные резервы в повышении эффективности применения инструментов государственного участия в развитии рыночной экономики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Сольская И.Ю. Методика оценки последствий структурного реформирования на второй стадии реализации реформы с учетом внешних и внутренних факторов / И.Ю. Сольская // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. - 2014. -№1(41). -С. 192-196.
- 2 Буровцев В.В. Государственное регулирование железнодорожного транспорта в период реформирования: учебное пособие / В.В. Буровцев, И.В. Мицук, И.Ю. Сольская. -М.: ФГБОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2012. -288 с.
- 3 Козлов Ю.М. Административное право РФ / Ю.М. Козлов. -М., Зерцало, 1997, -23 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Государственное управление и регулирование, соотношение государственных и рыночных регуляторов, институционализм
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Буровцев Владимир Викторович, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»

РАЗВИТИЕ СЕКТОРА ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ В АСПЕКТЕ СОКРАЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

В.В. Буровцев

DEVELOPMENT OF THE PUBLIC SERVICE SECTOR IN THE ASPECT OF REDUCING INFRASTRUCTURE CONSTRAINTS
Siberian state transport university
V.V. Burovtsev

Presented article is devoted to the issues of improving the administrative procedures for the provision of public services in the transport sector. The author substantiates the need to reduce administrative barriers in mind a number of negative multiplicative effects in the field.

Keywords: Government regulation, administrative barriers, government services

Рассмотрены актуальные вопросы совершенствования административных процедур оказания государственных услуг на транспорте. Обоснована необходимость сокращения административных барьеров ввиду наличия ряда отрицательных мультипликативных эффектов в указанной сфере деятельности.

Как известно, все «очаги цивилизации» развивались, согласуясь с развитием существовавших, в каждый период времени, путей сообщения. Но если на ранних этапах это были, прежде всего, водные артерии, то начиная с XX-го века научно-технического прогресса, Рос-

сия разрасталась соразмерно развитию собственной сети железных дорог. И это неслучайно, ведь железнодорожная отрасль, словно «кровеносными сосудами», непосредственно увязана с энергетикой, металлургической промышленностью, тяжелым машиностроением, оборонно-промышленным комплексом и многими другими важнейшими отраслями народного хозяйства.

Это значение железнодорожного транспорта с годами не только не приуменьшается, но и растет. Необходимо отметить, что наряду со всем известными железнодорожными путями общего пользования в России, практически в тех же масштабах функционирует вторая, менее известная, но такая же важная отрасль – предприятия транспорта необщего пользования. Эта важнейшая компонента транспортного комплекса часто остаётся без должного внимания как со стороны высокомонополизированных участников рынка транспортных услуг так и со стороны государства. А вместе с тем, именно путем необщего пользования выполняют важнейшую функцию – они как капиллярная система обеспечивают процессы погрузки, они напитывают стальные магистрали грузопотоками. От того как функционирует транспорт необщего пользования, в простонародье прозванный «подъездными путями» зависит насколько стабильно функционирует весь железнодорожный комплекс страны.

Если принять современное состояние железных дорог России за базу, то легко обнаружить, что большинство существующих железнодорожных линий было построено еще в дореволюционный период. С одной стороны, это свидетельствует о гениальности наших предшественников – основателей и строителей сети железных дорог, но с другой – приходится констатировать явную недостаточность ее современного развития. К сожалению, 1990-е годы в этом смысле были практически потеряны.

Вместе с тем, в результате ряда административных трансформаций, современная система государственного управления в сфере отечественного железнодорожного транспорта сегодня представляет собой следующую трехзвенную структуру: Министерство транспорта Российской Федерации формирует государственную политику и отвечает за создание нормативной базы в сфере железнодорожного транспорта и в целом транспортного комплекса; Федеральная служба по контролю и надзору в сфере транспорта выполняет контрольно-надзорные функции; главной же функцией Росжелдора и его территориальных органов является реализация государственной политики в области железнодорожного транспорта, в том числе оказание государственных услуг.

Действительно, участники транспортного рынка нуждаются в целом ряде услуг, оказываемых им соответствующими государственными структурами. На всем протяжении развития отечественного железнодорожного транспорта взгляды на полноту перечня и обоснование необходимости оказания конкретных государственных услуг, да и понимание роли и места самого института государства в транспортной отрасли периодически менялись.

С учетом этих обстоятельств необходимо обратить внимание на наличие ряда преград в развитии инфраструктуры транспорта необщего пользования, сосредоточенных в государственном секторе сферы услуг. В частности, следует учесть, что строительство и ввод в постоянную эксплуатацию железнодорожного пути необщего пользования – это предмет оказания государственных услуг.

На сегодняшний день, на федеральном и региональном уровне достаточное развитие получили следующие государственные услуги, в оказании которых принимают непосредственное участие соответствующие территориальные органы Росжелдора, а также подведомственные Росжелдору организации: пономерной учет железнодорожного подвижного состава; государственные образовательные услуги; открытие железнодорожных путей для эксплуатации; определение мест примыкания железнодорожных путей; открытие и закрытие станций для работы по параграфам тарифного руководства; урегулирование разногласий в едином технологическом процессе.

В ходе реализации административной реформы, процесс оказания государственных услуг получил четкую административно-правовую регламентацию (соответствующая оперограмма отражена на рисунке). В частности определены критерии доступности предоставления государственной услуги:

– наличие полной и понятной информации о местах, порядке и сроках предоставления государственной услуги на информационных стендах, в информационных ресурсах Росжелдора, в информационно-коммуникационной сети Интернет, в федеральной государственной информационной системе «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)», предоставление информации по телефону специалистами;

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

– возможность получения заявителем сведений о ходе выполнения обращения о предоставлении государственной услуги с помощью информационных ресурсов Росжелдора в информационно-коммуникационной сети Интернет и федеральной государственной информационной системы «Единый портал государственных и муниципальных услуг (функций)».

А также критерии качества предоставления государственной услуги:

– уровень взаимодействия заявителя со специалистами при предоставлении государственной услуги осуществляется при приеме документов и при получении документов лично заявителем (или полномочным представителем);

– предоставление заявителю информации о сроках предоставления государственной услуги.

– количество взаимодействий заявителя со специалистами при предоставлении государственной услуги для получения информации о местонахождении и графике работы, по вопросам предоставления государственной услуги и информации о ходе предоставления государственной услуги с использованием телефонной и почтовой связи, в том числе с использованием информационно-коммуникационных технологий, не ограничено.

Поступление обращения о примыкании строящихся, новых или восстановленных железнодорожных путей общего пользования и железнодорожных путей необщего пользования (далее - новые железнодорожные пути) к существующим железнодорожным путям общего пользования (далее - Обращение) и документов Заявителя в территориальный орган Росжелдора



Рассмотрение Обращения и документов Заявителя в территориальном органе Росжелдора на предмет их соответствия требованиям настоящего Административного регламента



Проведение территориальным органом Росжелдора обследования и установление соответствия новых железнодорожных путей в месте примыкания к существующим железнодорожным путям общего пользования требованиям Порядка определения мест примыкания, иных нормативных правовых актов, стандартов, технических норм, строительных норм и правил, предъявляемым к строительству и модернизации железнодорожных путей общего или необщего пользования. Подготовка по результатам обследования обоснованного заключения о соответствии (несоответствии) новых железнодорожных путей в месте примыкания к существующим железнодорожным путям общего пользования установленным требованиям (далее - обоснованное заключение) и направление его в Росжелдор



Рассмотрение Управлением инфраструктуры и перевозок Росжелдора обоснованного заключения территориального органа и принятие руководителем Росжелдора, лицом, исполняющим его обязанности, о возможности (невозможности) выдачи разрешения на примыкание новых железнодорожных путей к существующим железнодорожным путям общего пользования



Подготовка и издание приказа Росжелдора о выдаче разрешения на примыкание новых железнодорожных путей к существующим железнодорожным путям общего пользования (далее – приказ), а также размещение приказа на официальном сайте Росжелдора

Подпись руководителем Росжелдора или лицом, исполняющим его обязанности, мотивированного отказа в выдаче разрешения на примыкание



Информирование Росжелдором Заявителя о результате предоставления государственной услуги

Рисунок – Оперограмма административных процедур государственной услуги «Примыкание к железнодорожным путям и открытие для постоянной эксплуатации»

В ходе получения государственной услуги, пользователь несет ряд издержек. При этом речь идет не только об издержках, непосредственно связанных с выполнением администра-

тивных процедур. Возникает и еще один важнейший вид издержек, обусловленный временным периодом оказания государственной услуги. В частности, действующая нормативно-правовая база допускает достаточно значительные периоды выполнения административных процедур - свыше одного месяца.

Чем чреваты столь значительные временные периоды? Учитывая высокую капиталоёмкость развития инфраструктуры необходимо осознать, что пользователь государственной услуги, то есть инвестор, вложивший средства в строительство нового железнодорожного пути фактически вынужден заморозить собственные или привлеченные им средства на весь период получения государственной услуги. А это в свою очередь конечно влечет за собой удорожание проекта, административные риски, рост себестоимости конечной продукции и ряд иных отрицательных мультиплекативных эффектов. Значительное внимание проблемам взаимодействия государства и бизнеса с учетом особенностей финансового кризиса уделено в работе [1].

Таким образом, решение задачи сокращения административных барьеров в государственном секторе сферы услуг является залогом успешного развития инфраструктуры предприятий железнодорожного транспорта необщего пользования. Хорошой иллюстрацией рассматриваемого вопроса служит, то обстоятельство, что уже сегодня свыше 20% всей грузовой базы железнодорожного транспорта страны сосредоточено на Кузбассе. Следовательно, экономическая эффективность регулирования общественного (государственного) сектора сферы услуг на железнодорожном транспорте приобретает особую актуальность с учетом ряда инфраструктурах ограничений развития сибирского региона [2].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сольская И.Ю. Проблемы развития системы государственного контроля в условиях финансового кризиса / И.Ю. Сольская, В.В. Курсаков // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. -2012. -№3(35). -С. 201-204.

2 Буровцев В.В. Экономическая эффективность регулирования общественного (государственного) сектора сферы услуг на железнодорожном транспорте // В.В. Буровцев / 120 лет железнодорожному образованию Сибири, всероссийская науч.-техн. конф. с междунар. участием 22-25 окт. 2014 г. -Красноярск.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Государственное регулирование, административные барьеры, государственные услуги

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Буровцев Владимир Викторович, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ СИБИРСКОГО РЕГИОНА

ФКУ «Сибуправтодор»

Н.А. Рейнет

PRIORITY DIRECTIONS OF DEVELOPMENT OF A NETWORK OF HIGHWAYS IN SIBERIAN REGION

Sibupravtodor

N.A. Reinet

Are considered priority directions of development of a network and maintenance of technical condition of highways in Siberian region. Features of operation of roads in the conditions of severe climate and dependence on weather conditions are reflected.

Keywords: transportation system, development, Federation transport strategy, meteorological support system, establishment

Рассматриваются приоритетные направления развития сети и поддержания технического состояния автомобильных дорог Сибирского региона. Отражаются особенности эксплуатации дорог в условиях сурового климата и зависимости от метеоусловий.

Интенсивное социально-экономическое развитие Сибири и Дальнего Востока – один из приоритетов государственной политики последних лет – требует соответствующей транспортной инфраструктуры. А развитие дорожно-транспортной системы невозможно без постоянного совершенствования всех параметров сети. При ежегодном увеличении транспортных потоков, интенсивности и скоростей движения, обостряется необходимость в реконструкции существующих и возрастании объемов строительства новых дорожно-транспортных объектов. Вместе с тем, хроническое недоинвестирование в предыдущий долговременный период привело к существенному ухудшению технического состояния (степень износа и т.д.) и работоспособности дорог и их элементов, без резервов обеспечения надежности. Недостаточное развитие транспортной системы сдерживает экономический рост всех отраслей хозяйства страны в целом; низкая резидентная мобильность населения препятствует снижению напряженности на региональных рынках труда; низкий уровень безопасности перевозок грузов и пассажиров негативно влияет на конкурентоспособность на рынке транспортных услуг. Острая необходимость в ликвидации отставания в развитии автомобильных дорог требует определения мер и дополнительных источников.

Решение задачи заложено в «Транспортной стратегии России на период до 2030 г.» и ее составляющей – Федеральной целевой Программе «Развитие транспортной системы России (2010-2015 гг.)». Этими документами определены новые подходы к финансированию и развитию дорожного хозяйства в стране, которые способствуют подъему отрасли. В последние годы финансирование, а соответственно – и темпы строительства и реконструкции автомобильных дорог существенно увеличены.

В числе приоритетных задач, решаемых федеральными управлениями автомобильных дорог на территориях, является оценка транспортной ситуации, определение «болевых» точек (проблем и задач особой значимости, стратегических направлений и точек концентрации приложения усилий), подготовка обоснований и предложений о включении объектов в план финансирования из федерального бюджета. В настоящее время прикладываются большие усилия по созданию систем автодорожных обходов крупных населенных пунктов с подъездами к ним, обеспечивающих движение транзитных автомобильных потоков без заезда в города, значение которых переоценить невозможно. Они дают, как перевозчикам, так и городам, реальные, фантастические по величинам, выигрыши, и экономии финансовых затрат, времени, и, что особенно важно, увеличения безопасности и экологичности. Так, например, эксплуатация построенного Северного обхода г. Новосибирска показала не только его эффективность, но и несомненную важность продолжения совершенствования сети автодорог региона в этом направлении, в том числе для ФКУ «Сибуправтодор».

В настоящее время осуществляется строительство первого участка Восточного обхода г. Новосибирска, подготовлены материалы ТЭО и обоснование финансирования реконструкции участка от Толмачевского кольца до примыкания Северного обхода к трассе М-51 «Байкал» в границах г. Обь; ведутся проектно-изыскательские работы на трассах обходов г. Кемерово и г. Минусинска. Для новых обходов предусматриваются самые прогрессивные материалы и технологии, как, например, долговечное цементобетонное покрытие, раздели-

тельное бетонное ограждение «Нью-Джерси», акустические экраны в границах населенных пунктов. С другой стороны, с увеличением протяженности сети автодорог усложняется транспортная инфраструктура, предъявляются новые требования к содержанию дорог. Рост парка автотранспортных средств и увеличение экономической активности населения привели к повышению числа ДТП, что требует новых подходов к организации управления дорожным хозяйством.

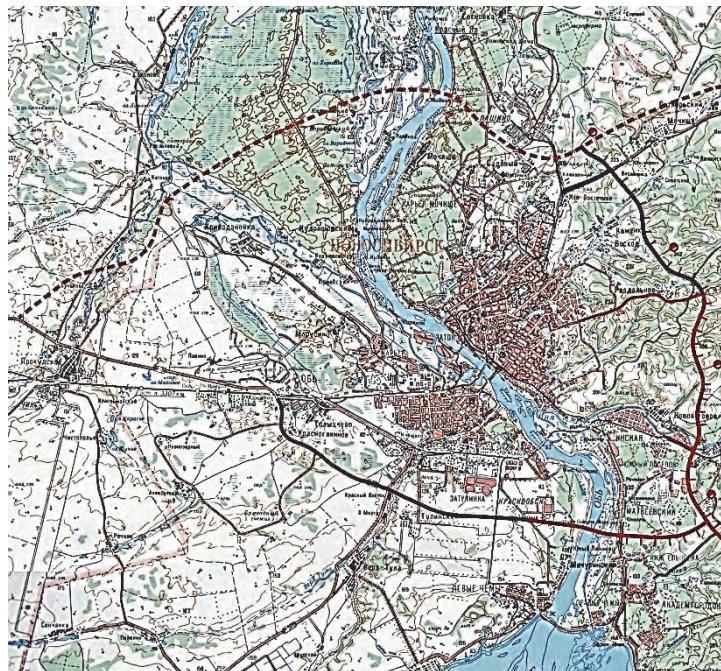


Рисунок 1 – Схемы трасс автодорожных обходов г. Новосибирска

Одной из приоритетных задач отрасли является также не только поддержание уровня технического состояния существующих дорог и дорожных сооружений, построенных несколько десятков лет назад, но и доведение их состояния до уровня, соответствующего современным нагрузкам и интенсивностям движения. Выход на уровень параметров нормативного содержания подведомственных дорог запланирован на 2018 г., что является вполне реальным, в соответствии с политикой и планами финансирования Федерального дорожного агентства.

Реконструкция существующих участков автодорог с доведением параметров до более высокой технической категории позволяет успешно решать задачи, связанные с повышением пропускной способности и безопасности движения. В ближайшие годы на территории Западной Сибири будут реализованы несколько проектов реконструкции, а именно:

- в Новосибирской области – реконструкция, строительство автомобильной дороги М-51 «Байкал» (Р-254 «Иртыш») Челябинск-Курган-Омск-Новосибирск на участке 1392 км-1422 км, протяженностью 30 км до параметров I технической категории;
- в Кемеровской области – реконструкция автомобильной дороги М-53 «Байкал» (Р-255 «Сибирь») Новосибирск-Кемерово-Красноярск-Иркутск 149,7 км-158,2 км, протяженностью 9 км до параметров II категории;
- в Омской области – реконструкция автомобильной дороги 1Р-402 Тюмень-Ялуторовск-Ишим-Омск с 574 км-608 км, протяженностью 34 км до параметров I технической категории.
- участок реконструкции автомобильной дороги М-53 «Байкал» (Р-255 «Сибирь») Новосибирск-Кемерово-Красноярск-Иркутск 481+500 км-486 км, до параметров II категории со строительством путепровода в районе ст. Сузлово на пересечении автомобильной дороги с «Транссибом».

При выполнении работ по ремонту и реконструкции упор делается на внедрение новых материалов и технологий. К таким материалам можно отнести битумоминеральные открытые смеси (БМО), полимерно-битумные вяжущие (ПБВ), щебеночно-мастичные асфальтобетоны (ШМА), обеспечивающие повышение параметров шероховатости и снижающие опасность возникновения аквапланирования. Если в 2012 г. с применением таких материалов на сети ФКУ «Сибуправтодор» было отремонтировано 41,3 км покрытий дорог, в 2013 г. – бо-

ле 60 км. Возрастает применение и других материалов нового поколения, главной целью которого является обеспечение оптимального соотношения стоимости и качества работ.

В соответствии с Программой создания системы метеообеспечения Росавтодора 2005 г., ФКУ «Сибуправтодор» выполняет мероприятия по реализации проекта модернизации автоматизированной системы управления эксплуатацией и технологическими процессами (АСУЭ и ТП) Управления (рисунок 2), с добавлением в ее состав подсистемы контроля метеорологических факторов и их влияния на режимы движения на дорогах, зависимость от которых в Сибирском регионе очень велика. Внедрение автоматизированных систем метеорологического обеспечения (АСМО), информационных табло, систем мониторинга и управления освещением, современных элементов обустройства дорог относится к первоочередным задачам [1-4].

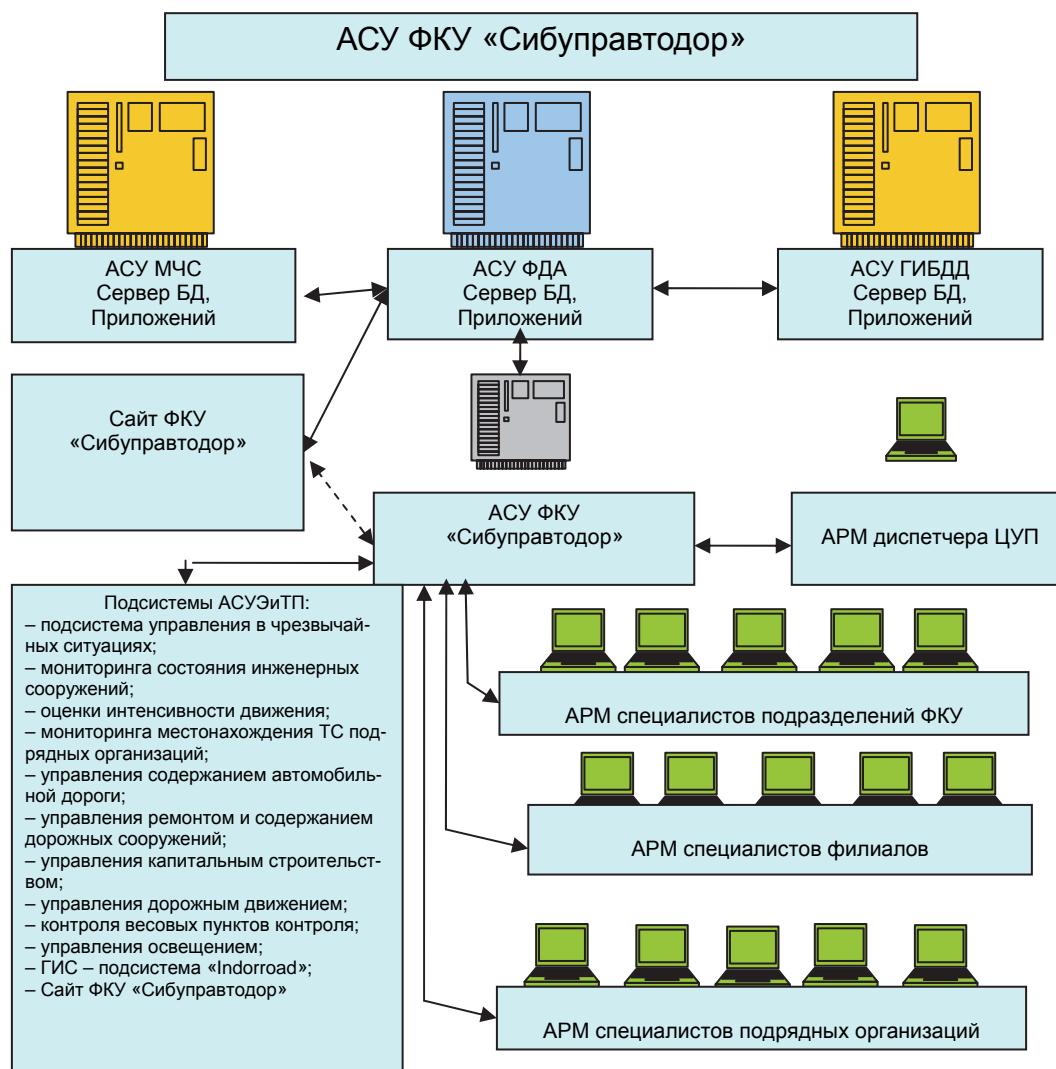


Рисунок 2 – Структура АСУЭиТП ФКУ «Сибупрвтодор»

Для оснащения автомобильных дорог автоматизированными дорожными метеостанциями ФКУ «Сибупрвтодор» выполнен большой объем мероприятий, в результате которых сформирована база данных видеомониторинга и термокартирования, мест концентрации ДТП. Это позволило обосновать технические решения не только подсистемы АСМО, но и системы управления эксплуатацией автомобильных дорог в целом, разработать требования и технические решения по взаимодействию подсистемы метеообеспечения с другими автоматизированными системами и комплексами, в том числе используемыми взаимодействующими с ФКУ «Сибупрвтодор» организациями и ведомствами. Комплексы мониторинга всех подсистем АСУ объединены в единую систему информационного обеспечения. То есть, в любой момент времени информация соответствует реальному состоянию объектов контроля и управления. Это обеспечивает своевременность принятия обоснованных решений по поддержанию каждой дороги в требуемом эксплуатационном состоянии.

Таким образом, в составе приоритетных задач, решаемых дорожной отраслью, выделяются несколько приоритетных направлений, включающих создание транспортных обходов крупных населенных пунктов; реконструкция напряженных участков автодорог до соответствия требованиям действующих нормативных документов по нагрузкам на оси и пропускной способности; применение прогрессивных технологий и материалов при выполнении ремонтов; внедрение АСУ эксплуатационными режимами и выполнением работ текущего содержания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Транспортная стратегия Российской Федерации на период до 2030 г.: утв. распоряжением Правительства РФ от 22 нояб. 2008 г. № 1734-р.
- 2 Развитие транспортной системы России 2010-2015 гг.: федер. целевая прогр.: утв. распоряжением ФДА Росавтодор от 22 нояб. 2011 г. №904-р.
- 3 Стратегия развития инновационной деятельности на период 2011-2015 годов: утв. распоряжением ФДА Росавтодор от 22 нояб. 2011 г. № 904-р.
- 4 Программа создания системы метеообеспечения на сети федеральных автомобильных дорог. - Росавтодор, 2005.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: транспортная система, развитие, Федеральная транспортная стратегия, метеорологическое обеспечение, создание

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рейнет Николай Антсович, первый заместитель начальника ФКУ «Сибуправтодор»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630008, г.Новосибирск, ул.Добролюбова, 111, ФКУ «Сибуправтодор»

ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕЖИМА СТОКА РЕК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Г.В. Белоненко, Ж.А. Тусупбеков

HYDROLOGICAL AND CLIMATIC CONDITIONS OF FORMATION AND FLOW REGIME OF THE RIVERS OF WESTERN SIBERIA
Omsk state agrarian university named P.A. Stolypin
Siberian state transport university
G.V. Belonenko, Z.A. Tusupbekov

Considered the dependence of the annual flow, the natural flow regulation, supply and inflow of groundwater into the river system by hydration and structure of the river basin.

Keywords: factors and natural overregulation flow, supply and inflow of groundwater

Рассмотрена обусловленность годового стока, естественной зарегулированности стока, питания и притока подземных вод в речную сеть увлажнением и строением речного бассейна.

Дальнейшее транспортное обустройство Западной Сибири, предусмотренное Транспортной стратегией России, невозможно без глубокого изучения закономерностей и особенностей формирования водных ресурсов региона как в связи с необходимостью их рационального использования, так и нормированием антропогенного воздействия на геосистемы речных бассейнов региона.

Внутриконтинентальное положение Западной Сибири, значительная ее протяженность с севера на юг и с запада на восток, равнинный характер и слабая расчлененность рельефа с многочисленными мезо-, микро- и макро понижениями в совокупности способствуют формированию общих и внутрирегиональных гидролого-климатических особенностей стока рек исследуемого региона.

Известно, что направление и интенсивность всех природных процессов, протекающих в ландшафтной сфере, в том числе и процессов влаго- и теплооборота деятельной поверхности, определяется ресурсами влаги и тепла и их соотношением за любой рассматриваемый промежуток времени.

Учитывая вышеназванные особенности физико-географического положения и строения территории Западной Сибири формирование величины и режима стока рек в средний и конкретные годы происходит как в условиях недостаточного, так и избыточного увлажнения [1]. При этом во всех природных зонах региона верхним пределом речного стока закономерно являются наличные ресурсы влаги речного бассейна за рассматриваемый период.

Анализ коэффициентов годового стока равнинных рек региона (с водосборной площа-

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

дью до 20000 км²) в средний год показал, что влияние уровня увлажнения речного бассейна, характеризуемое коэффициентом увлажнения

$$K_H = H/Z_m ,$$

где H – ресурсы влаги;

Z_m – максимально возможное суммарное испарение),

на значения коэффициентов стока

$$\eta = Y/H ,$$

где Y – годовой сток,

является решающим и статистически достоверно описывается уравнением

$$\eta = 0,298K_H^3 . \quad (1)$$

В соответствии с (1) и фактическими данными о стоке и ресурсах влаги значения η для зональных условий формирования стока изменяются по территории 0,04-0,70.

В расчетах годового стока при отсутствии данных наблюдений принято [2,3] учитывать влияние местных факторов, к числу которых относится и наличие леса на водосборной площади. Выполненный анализ показал допустимость аппроксимаций:

$$\eta = 0,655K_H + 0,0013f_L - 0,41; \quad (2)$$

$$\eta = 0,162K_H^{2,492} (1 + f_L/100)^{1,386} , \quad (3)$$

где f_L – лесистость речного бассейна, %.

Вклад лесистости речного бассейна в значения коэффициентов годового стока статистически достоверен, но относительно невелик и в среднем составляет около 9%.

Во внутригодовые периоды при прочих равных условиях решающее влияние на величину и режим стока могут оказывать и оказывают факторы, характеризующие режим увлажнения, источник питания речных вод, строение речного бассейна (лесистость, озерность, заболоченность) и т.д.. В совокупности влияние названных факторов формирует естественную зарегулированность стока, численно характеризуемую коэффициентом естественной зарегулированности φ , равным отношению объема базисного стока к общему объему стока за год. Коэффициент φ характеризует как равномерность [4], так и неравномерность внутригодового распределения стока.

Результаты расчетов φ аналитическим методом с использованием среднемесячных и среднегодовых расходов [5] и анализ показали, что коэффициент φ устойчиво возрастает при возрастании коэффициента увлажнения и лесистости речного бассейна и, кроме того, изменяется при возрастании площади водосбора крупных рек, имеющих меридиональное простиранье и расположенных в разных природно-климатических зонах (таблица).

Таблица – Значения коэффициентов естественной зарегулированности стока φ крупных рек Западной Сибири

Река	Пост	Площадь водосбора, км ²	Коэффициент φ
Обь	с. Фоминское	98 200	0,662
	г. Барнаул	169 000	0,651
	г. Камень-на-Оби	216 000	0,644
	ГЭС Новосибирская	232 000	0,718
	г. Колпашево	486 000	0,640
	д. Прохоркино	738 000	0,647
	с. Белогорье	2 690 000	0,666
	г. Салехард	2 950 000	0,660
Иртыш	г. Омск	769 000	0,816
	с. Усть-Ишим	1 040 000	0,672
	г. Тобольск	1 500 000	0,655
Тобол	с. Звериноголовское	143 000	0,551
	г. Курган	159 000	0,439
	г. Ялуторовск	241 00	0,547
	с. Иевлево	333 000	0,601
	с. Липовское	423 000	0,623

Отчетливо обнаруживается также и влияние водохранилищ на значения коэффициентов φ (Иртыш-Омск, Обь-ГЭС Новосибирская).

Объем базисного стока за год включает, как известно, весь объем подземного стока, включая сток зимнего периода, и часть поверхностного стока. Процедура разделения базисного стока на составляющие его компоненты содержит в себе те же принципиальные трудности и неопределенности, что и расчленение гидрографа годового стока.

С учетом этого авторами по результатам расчетов водного баланса, выполненных на основе замкнутой системы уравнений связи водного и теплоэнергетического балансов [6], получены среднемноголетние годовые суммы суммарного испарения Z , поверхностного Y_1 и подземного Y_2 стока, а также валового увлажнения $F_0 = Z + Y_2$, для изученных речных бассейнов Западной Сибири с площадью водосбора от 101 до 19000 км².

Для оценки величины подземного стока важным показателем является коэффициент питания подземных вод [7], численно равный отношению величины подземного стока Y_2 к валовому увлажнению F_0

$$K_U = Y_2 / F_0 .$$

Выполненные расчеты и анализ показали, что во всех природно-климатических зонах Западной Сибири зависимость K_U от коэффициента увлажнения $K_H = 0,53-1,40$, достоверно аппроксимируется уравнением $R^2 = 0,9234$

$$K_U = 0,213K_H^2 - 0,029K_H - 0,043 . \quad (4)$$

Кроме того установлено, что доля поверхностного стока в базисном стоке за год возрастает с юга на север и в среднем по региону составляет около 20%.

Наименее маловодным периодом, лимитирующим использование речного стока в Западной Сибири, является зимний период продолжительностью с ноября по март южнее широты г. Тобольска и с октября по май в Салехарде.

На формирование стока в зимний период априори оказывают влияние замерзание грунтов зоны аэрации (до 220 см в средний год в зависимости от температуры воздуха и высоты снежного покрова), а также потери стока на образование льда.

Формирование ледяного покрова на реках региона зависит от температурного режима воздуха в осенне-зимний период, характера перемешивания воды, морфометрических характеристик русла, скорости течения воды, интенсивности охлаждения воды и образования кристаллов льда и пр.

Период от устойчивого образования льда до начала весеннего ледохода на исследуемой территории приходится на октябрь-май на севере (бассейны рек Вах, Васюган, Малый Юган, Пур, Таз, Тром-Юган и т.д), и на ноябрь-апрель на юге (бассейны реки Иртыш и Средней Оби).

Период нарастания льда имеет широтную зональность и на большей части рек продолжается до марта, а к северу этот период продолжается до апреля, после чего происходит уменьшение толщины ледяного покрова, при этом среднемесячные температуры остаются отрицательными.

По характеру процесса нарастания толщины льда можно выделить два типа рек, соответствующих зональным особенностям климата региона.

К первому типу относятся реки с замедленным ростом скорости нарастания льда от 0,4-0,6 см/сутки в начале зимы с дальнейшим увеличением к середине зимы до 0,7-0,9 см/сутки, и уменьшением до 0,3-0,2 см/сутки к концу периода нарастания толщины льда.

Ко второму типу относятся реки с максимальной скоростью 0,8-0,9 см/сутки в начале холодного периода с дальнейшим ее снижением до 0,3-0,2 см/сутки к концу периода нарастания.

Приведенные особенности формирования ледяного покрова определяют и особенности формирования потерь речного стока на этот процесс.

При отсутствии поверхностного стока питание рек в зимний период осуществляется подземными водами, дренируемыми гидрографической сетью. На рассмотренных авторами речных бассейнах сумма месячных величин зимнего стока $\sum Y_{зим}$ изменяется от нескольких мм в южной лесостепной и степной зонах до 80-84 мм в южно-таежной зоне. Для речных бассейнов, расположенных в зоне достаточного и избыточного увлажнения $K_H > 0,7$, достоверно возрастание $\sum Y_{зим}$ как при увеличении K_H , так и размера водосборной площади F (км²)

$$\sum Y_{зим} = 176,4K_H + 0,183F/1000 - 125,7 , \text{ мм.} \quad (5)$$

Процесс дренирования аккумулированной в зоне активного водообмена запасов воды в большинстве случаев представляет собой нисходящую кривую и повсеместно, как показал анализ, достоверно описывается полиномом второй степени. Снижение притока подземных вод за зимний период (в зависимости от ϕ и F) может составлять от 6,2 до 95% подземного притока в последнем месяце осени с положительной температурой воздуха. Почти повсеместно, как отмечалось ранее и в работе [8], в последний месяц зимы, то есть до наступления положительных температур воздуха, таяние снега и оттаивания грунтов, характерно некоторое приращение подземного стока. Можно предположить, что это связано с фазовыми превращениями почвенной влаги в зоне аэрации и с особенностями влагообмена в этот период в системе зона аэрации – зона насыщения.

Таким образом, выполненными исследованиями установлена определяющая роль гидролого-климатических условий и особенностей строения речных бассейнов на величину, характер территориального распределения, естественную зарегулированность стока, а также на питание подземных вод и их приток в речную сеть в зимний период.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Белоненко, Г.В. Эколого-географические условия транспортного освоения Западной Сибири / Г.В. Белоненко, Н.Б. Попова, Ж.А. Тусупбеков. -Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2012. -266 с.
- 2 Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. -Л.: Гидрометеоиздат, 1984. -448 с.
- 3 СП 33-101-2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик. -М.: Госстрой России, 2004. -70 с.
- 4 Кошкина, О.А. Влияние режима стока рек и степени его естественной зарегулированности на параметры динамических систем речных бассейнов / О.А. Кошкина, В.А. Земцов // Вестн. Томск. ун-та. -2008. -Вып.316. -С. 213-218.
- 5 Комлев, А.М. Аналитический способ вычисления коэффициента естественной зарегулированности речного стока / А.М. Комлев, Г.В. Проскурин // Метеорология и гидрология. -1977. -№10. -С. 95-99.
- Белоненко, Г.В. Воднобалансовые расчеты неизученных бассейнов малых рек: учеб. пособие / Г.В. Белоненко. -Омск: Изд-во ОмСХИ, 1985. -72 с.
- Львович, М.И. Мировые водные ресурсы и их будущее / М.И. Львович. -М.: Мысль, 1974. -448 с.
- 6 Комлев, А.М. Особенности истощения стока рек Западной Сибири в течение зимнего сезона / А.М. Комлев // Исследования речного стока: избр. тр. / Перм. ун-т. -Пермь, 2006. -С. 95-108.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: факторы и естественная зарегулированность стока, питание и приток подземных вод

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Белоненко Геннадий Васильевич, докт. геогр. наук, профессор ФГБОУ ВПО «СГУПС»
Тусупбеков Жанболат Ашикович, канд. геогр. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГАУ»
им. П.А. Столыпина»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ковальчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»
644008, г.Омск, Институтская площадь, 2, ФГБОУ ВПО «ОмГАУ им. П.А. Столыпина»

ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

Э.М. Рязанов

THE USE OF ENERGY ABSORPTION DEVICES IN COUPLER FOR PASSIVE SAFETY TRAINS
Ural state university of railway transport
E.M. Ryazanov

The paper deals with passive safety electric trains by equipping coupler energy absorption devices. Evaluation of the effectiveness of these devices produced through computer simulation of a collision rail vehicles.

Keywords: rail vehicles, passive safety, coupler, energy absorption devices, FEA

Рассмотрены вопросы обеспечения пассивной безопасности электропоезда путем оснащения сцепных устройств элементами аварийной крэш-системы. Оценка эффективности применения данных устройств, произведена благодаря компьютерному моделированию столкновения железнодорожного подвижного состава.

Столкновения пассажирских поездов с препятствием на пути следования представляют угрозу жизни и здоровью пассажиров и персонала поезда. Для снижения тяжести последствий аварийных столкновений, конструкции кузовов пассажирских вагонов должны оборудоваться элементами системы пассивной безопасности. К этой системе относят аварийную крэш-систему, которая в случае столкновения подвижного состава с препятствием уменьшает ускорение объектов столкновения за счет поглощения кинетической энергии путем

контролируемой необратимой деформации устройств поглощения энергии (УПЭ). К таким устройствам относятся деформирующиеся необратимо при аварийном столкновении съемные модульные конструкции, сконструированные специально для поглощения значительного количества кинетической энергии объектов аварийного столкновения, а также элементы сцепных устройств с механизмом необратимого поглощения кинетической энергии объектов аварийного столкновения.

Цель работы заключается в оценке эффективности применения сцепок оборудованных УПЭ для обеспечения безопасности при аварийном столкновении.

Объект исследования. В качестве объекта исследования выбран электропоезд постоянного тока ЭС2Г с конструкционной скоростью в эксплуатации 160 км/ч.

Аварийная крэш-система электропоезда включает в себя следующие УПЭ: стальной крэш-модуль, расположенный на головном вагоне поезда, межвагонные сцепки с жертвенными трубками, расположенные между первым и вторым вагоном, а также четвертым и пятым вагоном (рисунок 1).

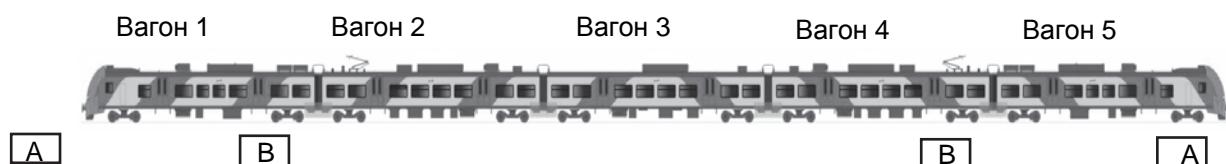


Рисунок 1 – Расположение УПЭ аварийной крэш-системы в поезде: А-зона расположения крэш-модуля; В-зона расположения межвагонных сцепок с жертвенными трубками

Соединение между отдельными вагонами электропоезда осуществляется при помощи короткой и длинной сцепки типа Scharfenberg. При возникновении аварийной ситуации, то есть при превышении силы сжатия между вагонами $1,2 \pm 7\%$ МН, происходит поглощение энергии за счет деформирования специально предназначено для этого жертвенной трубы (рисунок 2).



Рисунок 2 – Деформирование жертвенной трубы в короткой сцепке

Применение жертвенной трубы в конструкции межвагонной сцепки придает энергоемкость устройству, примерно в 30 раз (610 кДж) превышающую значения, заданные нормами безопасности. Деформация данного элемента обеспечивает ход в 4 раза больший, чем реализуется в отечественных поглощающих аппаратах традиционных типов.

Математическая модель. Решение задачи ударного столкновения производилось в программном комплексе LS-DYNA [1].

Начальные условия задачи сформулированы исходя из второго расчетного сценария межгосударственного стандарта ГОСТ 32410-2013 «Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля» [2]. Данный сценарий моделирует аварийное столкновение с грузовым вагоном (рисунок 3).

Учитывая положения стандартта, сформулированы параметры модели [3] (рисунок 4):

- модель поезда имеет скорость 36 км/ч перед столкновением;
- препятствия в данных сценариях представляют абсолютно твердую стенку, перпендикулярную оси движения поезда, допускающее свободное перемещение только в направлении оси движения поезда (без поворотов, боковых и вертикальных смещений);
- электропоезд – состав из двух вагонов, имеющий массы с учетом загрузки пассажи-

рами;

- головной вагон электропоезда моделируется подробно, последующий усечен плоскостью перпендикулярной оси движения;
- связь между первым и вторым вагонами осуществляется посредством межвагонных сцепок (учитывается наличие хода, упругости);
- вагоны имеют одну степень свободы – вдоль оси пути;
- взаимодействие колесо-рельс не учитывается.

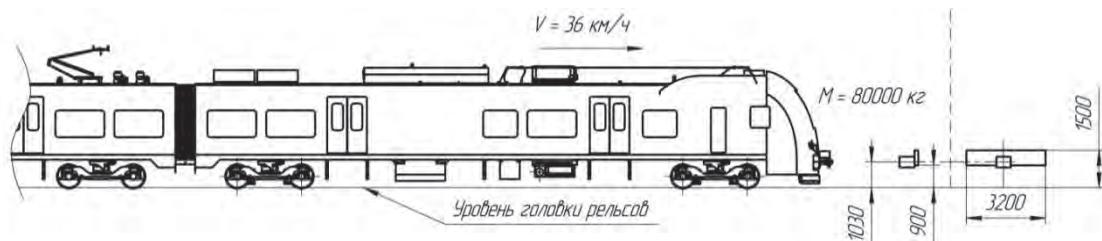


Рисунок 3 – Сценарии столкновений с грузовым вагоном: V -скорость аварийного столкновения с препятствием; M -масса препятствия

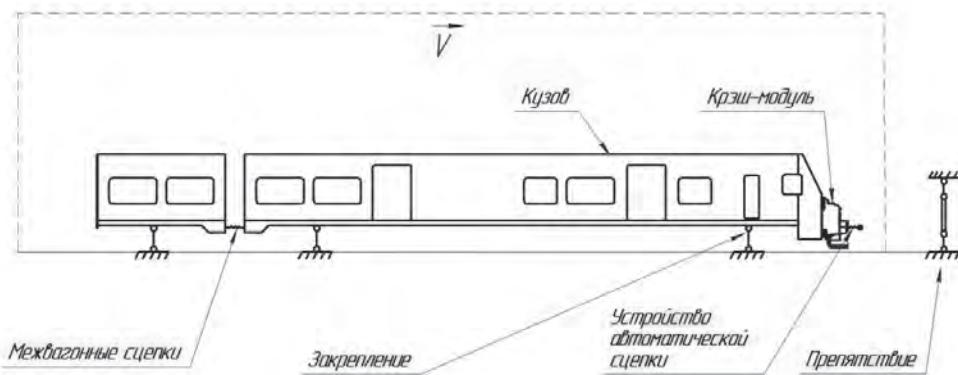


Рисунок 4 – Параметры модели

Для моделирования конструктивных свойств кузова вагона использовались объемные трех и четырех узловые элементы типа оболочки (SHELL).

Оценка эффективности применения сцепок, оборудованных жертвенными трубками, была произведена путем сопоставления результатов моделирования ударного столкновения электропоезда, снабженного данными устройствами, с результатами моделирования электропоезда, оснащенными обычными поглощающими аппаратами в автосцепном оборудовании.

Сцепные устройства в конечно-элементной модели имитировались одномерными элементами типа пружина (DISCRETE). В качестве упрощения, нелинейная силовая характеристика сцепок была заменена на линейную зависимость с сохранением рабочего хода и энергоемкости устройств.

В результате упругие свойства устройства межвагонной сцепки были заданы линейной пружиной с жесткостью 10553 Н/мм и рабочим ходом каждого устройства 340 мм, после которого они заклинивались. Для расчетной модели электропоезда с автосцепным устройством неоснащенным УПЭ, были выбраны параметры сцепки вагонов, соответствующие характеристикам поглощающего аппарата Р-2П с энергоемкостью 22,5 кДж, жесткостью линейной пружины 9183 Н/мм и ходом 70 мм.

Результаты расчета. Согласно стандарту [2], к аварийной крэш-системе предъявляются два основных требования: первое ограничивает средние значения продольного ускорения единиц подвижного состава, а второе определяет предельно допустимые остаточные деформации в конструкции кузовов вагонов.

Крэш-система не должна допускать появление остаточных деформаций кузова в продольном направлении более 50 мм на каждые 5 м длины кузова, а изменение линейных размеров по диагоналям оконных и дверных проемов более 1% от исходных размеров. По итогам компьютерного моделирования, выявлены зоны наибольших остаточных деформа-

ций для модели электропоезда с УПЭ в сцепном устройстве и модели с обычным поглощающим аппаратом. Они расположились в крэш-модуле и в районах дверных и оконных проемов (рисунок 5). Анализ результатов показал, что изменение размеров кузова вагона не превышают предельно допустимые значения для обеих моделей, это означает, что независимо от типа сцепного оборудования требования данного пункта по крэш-системе выполняются.

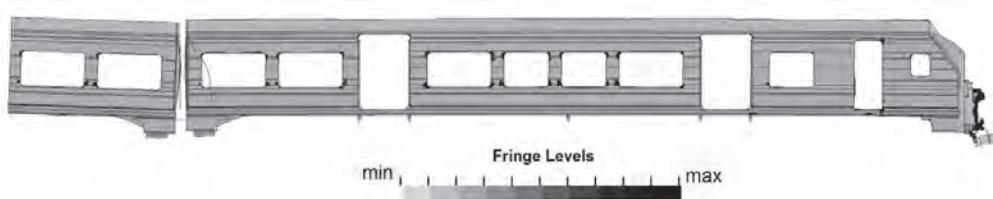


Рисунок 5 – Области остаточных деформаций в модели электропоезда

При аварийном продольном столкновении подвижного состава с препятствием средние продольные ускорения внутри салона не должны превышать 50 м/с^2 . Компьютерное моделирование позволило определить изменение скорости головного вагона в процессе столкновения (рисунок 6).

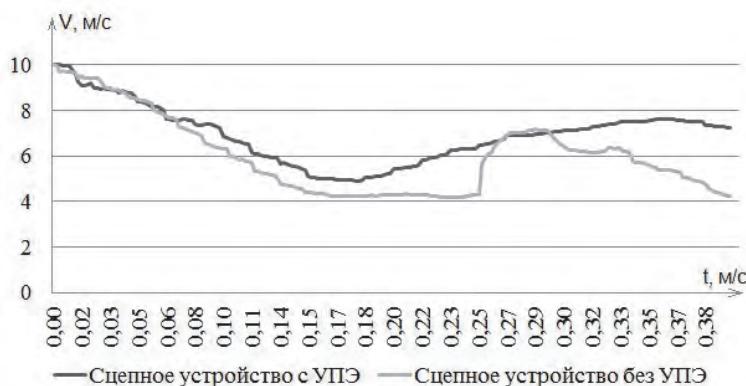


Рисунок 6 – График изменения скорости головного вагона

В промежутке времени от 0 до 0,17 с происходит плавное снижение скорости головного вагона за счет взаимодействия крэш-модуля с препятствием, средние продольные ускорения для обеих моделей не превышают 30 м/с^2 . Далее второй вагон начинает активно воздействовать на первый, тем самым увеличивает его скорость. Модель поезда оборудованного УПЭ в сцепных устройствах приобретает ускорения равные 15 м/с^2 . Поезд, оснащенный обычными поглощающими аппаратами, при достижении максимального сжатия устройства заклинивается, и передает значительную кинетическую энергию от второго вагона к головному, в результате чего последний приобретает ускорения превышающие 100 м/с^2 , что в два раза выше предельно допустимых.

Проведенный анализ показал, что применение УПЭ в межвагонных сцепках снижает средние продольные ускорения внутри салона почти в 7 раз, и тем самым обеспечивает значительно более эффективную защиту пассажиров в случаях столкновений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 LSTC. LS-DYNA Keyword User's Manual, Vol. 1. Livermore Software Technology Corporation (LSTC). -2009. -1384 р.
- 2 ГОСТ 32410-2013. Крэш-системы аварийные железнодорожного подвижного состава для пассажирских перевозок. Технические требования и методы контроля. -М.: Стандартинформ, 2013. -26 с.
- 3 Журавлев, Н.М. Пассивная защита кузовов электроподвижного состава при аварийных ситуациях: дис. ... канд. техн. наук / Н.М. Журавлев. -М.: МИИТ, 2006. -231 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: железнодорожный подвижной состав, пассивная безопасность, сцепное устройство, устройство поглощения энергии, МКЭ

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рязанов Эльдар Михайлович, аспирант ФГБОУ ВПО «УрГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 620034, г. Екатеринбург, ул. Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

СТРОИТЕЛЬСТВО ДЮКЕРНОГО ПЕРЕХОДА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 1400 мм ЧЕРЕЗ р.ОБЬ

Контрольно-счетная палата Новосибирской области

М.И. Выжитович

THE CONSTRUCTION OF THE PIPE SUBWAY FROM POLYETHYLENE PIPES WITH A DIAMETER OF 1400 mm OVER THE OB RIVER

Control audit chamber of the Novosibirsk region

M.I. Vyzhitovich

Features of laying of new inverted siphons transition for giving of sewer drains with right on the left coast to the main pump station through the river Ob instead of the old are considered.

Keywords: inverted siphons transition, pipeline, underwater trench, immersion of a lash

Рассматриваются особенности прокладки нового дюкерного перехода для подачи канализационных стоков с правого на левый берег к главной насосной станции через реку Обь взамен старого.

Первый подводный переход канализационного самотечного трубопровода через р. Обь, предназначенный для подачи канализационных стоков с правого на левый берег к главной насосной станции и далее на городские очистные сооружения, был проложен в Северо-Западной части г. Новосибирска в 1971 г. по проекту института «Гипрокоммунводоканал». За 35 лет его эксплуатации наработка на отказ верхнего трубопровода составили 1,7 года, нижнего – 1,6 года, при нормативном сроке эксплуатации согласно ГОСТ 27.002-89 и ВСН 010-88 – 30 лет.

Новый дюкерный переход протяженностью от верхней камеры (ВКД) на правом берегу реки до нижней камеры (НКД) на левом берегу 1248 м, пересек русло р. Обь на 705,5 км по лоцманской карте р. Обь 2006 г., на расстоянии 45 м вниз по течению от существующего (рисунок 1).

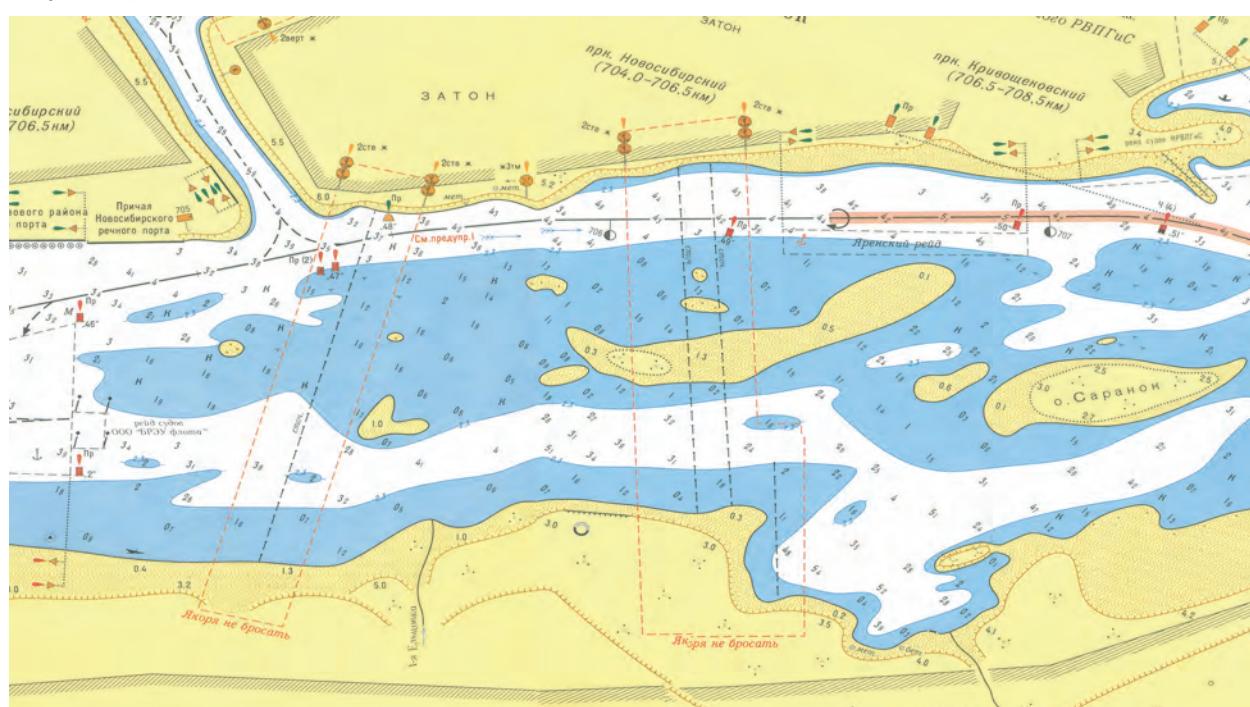


Рисунок 1 – Схема трассы дюкерного перехода через р. Обь

План производства работ по устройству нового дюкера разработало ЗАО «КВХ Пайл Лтд» (Финляндия), строительно-монтажные работы, включая реконструкцию нижней части дюкера с устройством аварийного выпуска из верхней и нижней камер, выполнило ООО «Сибподводстройсервис». Для трубопровода использованы напорные полимерные трубы фирмы «КВХ Пайл Лтд» с гарантированным сроком эксплуатации 50 лет.

Гидрологические и морфометрические особенности участка. Река Обь относится к

крупным судоходным водотокам. В период навигации на участке р. Обь в районе подводного перехода осуществляется интенсивное судоходство вдоль левого берега, где проходит фарватер и судовой ход. Этот участок реки примыкает к затону Новосибирской Ремонтно-эксплуатационной базы флота. Выше и ниже створа дюкерного перехода имеются причалы. В 26 км выше по течению от подводного перехода она зарегулирована Новосибирским водохранилищем полной емкостью 8,8 млрд. м³, которое обеспечивает сезонное регулирование стока с ежегодным весенним накоплением до отметки НПУ-113,5 м и последующей сработкой до уровня «мертвого» объема УМО-108,5 м.

При недельном регулировании в зимнее время среднесуточный расход составляет около 450 м³/с. При суточном регулировании минимальный расход может быть 240 м³/сек. В навигационный период минимальный базисный расход в часы провала нагрузок на ГЭС может быть 900 м³/сек. Скорости течения на поверхности р. Обь $v = 0,8\text{--}1,2$ м/с с экстремумами у поверхности 1,5 м/с, у дна 0,6 м/с; возможно образование завихрений. Весеннее половодье на Оби обычно проходит в виде двух волн. Первая – от таяния снега на равнинной части бассейна, вторая – от снеготаяния в горах. Средняя дата прохождения пика половодья 20 мая, крайние даты 28 апреля-17 августа.

Створ подводного перехода расположен на участке с неустойчивым ледовым режимом, в теплые зимы ледостав чередуется с ледоходом и шугой. В течение всей зимы температура воды имеет значения близкие к нулю. Среднемесячная температура воды июля наблюдается в пределах 18-23 °С. В нижнем бьефе Новосибирской ГЭС в течение всей зимы сохраняется полынья длиной 5-8 км. В январе, с увеличением попусков в нижний бьеф, кромка полыни может перемещаться вниз до 13 км, в феврале – до 19 км. Основными факторами, определяющими русловые процессы, являются морфометрические особенности и геологическое строение русла; величина и продолжительность максимальных расходов воды. В черте г. Новосибирска р. Обь имеет асимметричную долину. Правый берег крутой из насыпного грунта, левый берег пологий. Ширина русла реки в створе перехода 1050 м. На участке реки выше и ниже подводного перехода наблюдаются русловые острова и коса, идущая от верха острова Саранок. Дно реки неровное, наибольшие глубины отмечаются у левого берега. Русло реки в створе перехода однорукавное. Наибольшие глубины и судовой ход проходят у левого берега. Непосредственно к руслу примыкают пойменные берега, которые заталиваются при высоких весенних половодьях.

Трасса трубопровода нового дюкера состоит из руслового и береговых участков с глубиной расположения в грунте на суше до 5 м, в русле – до 3 м. В качестве материала подушки и обратной засыпки использован песок, гравий и щебень крупностью 20-65 мм. Камеры дюкера находятся на надпойменных террасах, дюкер на пойменной террасе и в русле реки. Геологический разрез по створу подводного перехода представлен в основном аллювиальными отложениями реки Обь из мелко-среднезернистых песков с включением гальки и гравия до 10%, у берегов иловатыми и с растительными остатками, в русловой части на глубине заложения трубопровода встречены скальные грунты.

Технология производства работ. До начала строительно-монтажных работ были выполнены подготовительные работы: строительство временных зданий и сооружений; электроснабжение и водоснабжение площадки; разбивка оси трубопровода на местности; устройство временного причала и площадки для сборки и сварки труб в плети; оборудование стапеля для спуска плетей трубопровода на воду $L = 90$ м; оборудование стапеля для подъема плетей трубопровода на берег $L = 70$ м (левый берег) и $L = 170$ м (правый берег); устройство подъездной дороги; завоз механизмов, строительных материалов, конструкций; обследование дна реки (удаление топляков, валунов); контрольные промеры глубин по створу перехода (выявление отклонений от проектного профиля) [1-3].

Разработка подводной траншеи. При скорости течения до 0,5 м/с траншее разрабатывали при установке землесоса вдоль оси траншеи (поперек течения) на 4-5 якорях; при скоростях течения более 0,5 м/с – против течения. Для уменьшения кривизны траншеи, вызванной качанием земснаряда на авантовом якоре, увеличивали радиус качания путем подведения под авантовый трос 2-3 pontонов (поковок). При разработке подводной траншеи применяли: с ПК0+81,5 до ПК2+45 (глины и супеси) – многочерпаковый дноуглубительный снаряд; с ПК3 +75,5 до ПК10+10 (глины и щебни) – земснаряд с многочерпаковым дноуглубительным снарядом; на остальных участках (в скальных грунтах) – экскаватор Hyundai R320LC-7 с гидромолотом, закрепленным на pontоне (после дробления скального грунта на экскаваторе меняли гидромолот на ковш). Грунты из подводной траншеи рефутировали на баржу и бук-

сировали к месту отвала.

Для укладки русловой части трубопровода на стройплощадке ОСК трубы сварили в 5 плетей (длинами 65 м, 378 м, 370 м, 230 м, 41 м) и произвели монтаж ж/б утяжелителей в 3 м от береговой линии. Затем плети с пригрузами транспортировали от стройплощадки ОСК к месту укладки на расстояние 11,5 км с помощью двух РТ-600. Укладку плетей русловой части трубопровода выполняли методом свободного погружения. Перед началом погружения производили доработку траншеи ручным гидромонитором, устройство песчаной прослойки толщиной $t = 400$ мм на скальное основание. Погружение плети длиной 65 м начали с правого берега, при этом конец трубопровода с муфтой оставался на плаву. Вторую плеть длиной 378 м присоединили к первой муфтовым соединением на понтоне. При этом первая плеть трубопровода была выставлена в створе, а каждую последующую первоначально выставляли параллельно течению реки (с радиусом изгиба трубы 90 м), что позволяло снизить боковую нагрузку от течения; по мере погружения трубопровода плети выставляли в проектное положение (рисунок 2). Когда русловую часть плети погрузили в воду, оставшийся конец завели в левобережную траншею (рисунок 3).

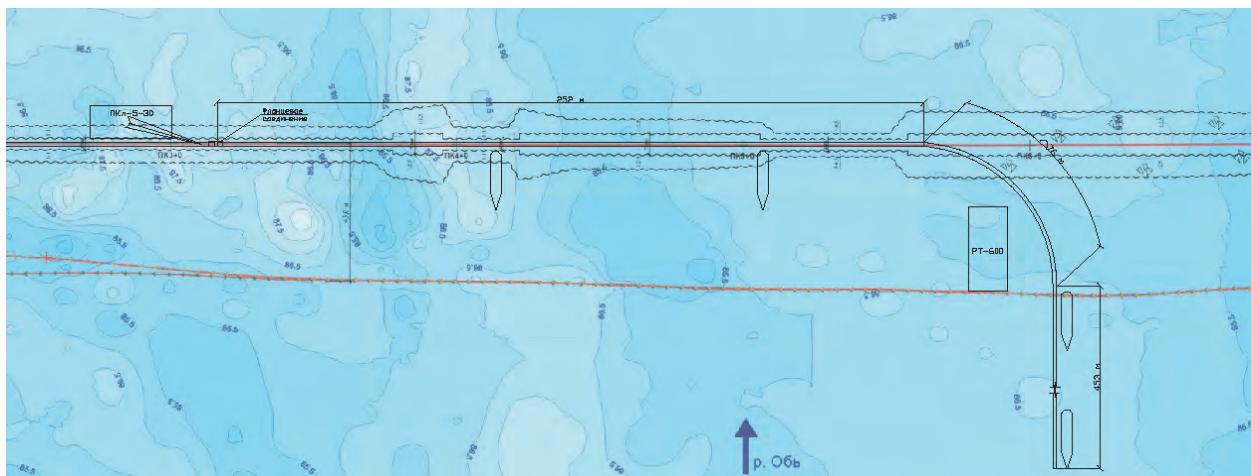


Рисунок 2 – Схема монтажа русловой части трубопровода

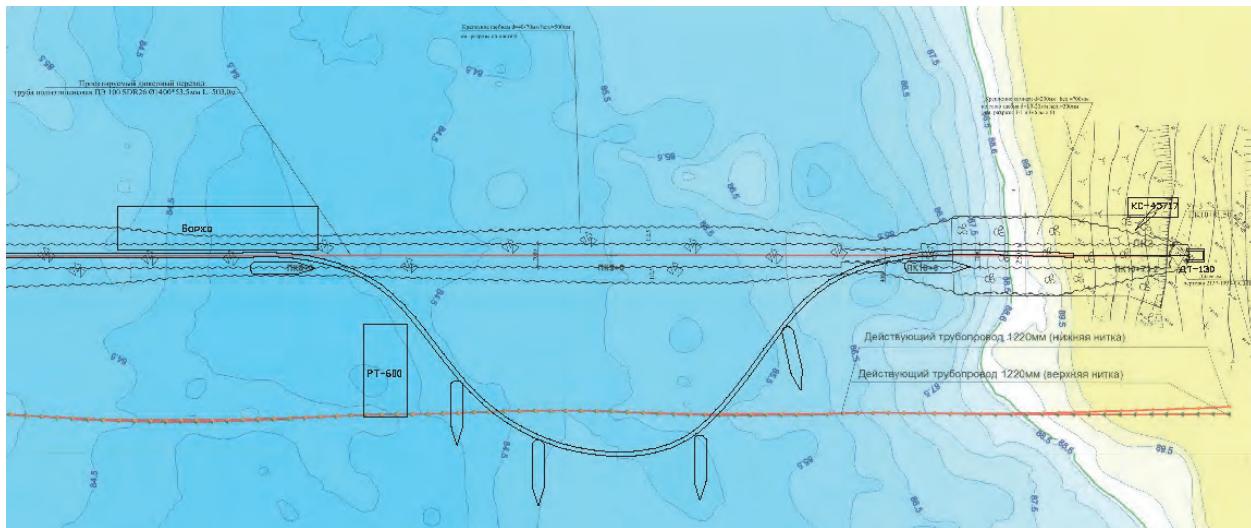


Рисунок 3 – Схема вывода трубопровода на правый берег

После укладки трубопровода осуществили контроль положения труб, подбивку пазух гидромонитором ДМУ 60/120, обратную засыпку подводной траншеи рефулированием грунта земснарядом.

Для защиты левого берега и дна реки в створе дюкера от размыва произвели укрепление на ширину раскрытия траншеи с помощью плавкрана КПл 5-30 грузоподъемностью 5 т с планировкой постели из песчано-гравийной смеси. Для защиты правого берега от размыва выполнили укрепление откосов монолитными железобетонными плитами.

Разработку грунта в траншее береговой части дюкера производили: на правом берегу – экскаватором на гусеничном ходу Hyundai R320LC-7 емкостью ковша 1,5 м³ с анкеровкой его бульдозером в необходимых случаях; на левом берегу – экскаватором на пневмоходу Hyundai R170W-7 емкостью ковша 0,5 м³. Разработку котлованов нижней и верхней камер дюкера на глубину до 0,5 м над верхом существующей трубы производили экскаватором, ниже – вручную с креплением стен котлована досками. Обратную засыпку траншей береговой части выполняли местным грунтом с послойным уплотнением пневмотрамбовками. Строительство коллектора на участках присоединения береговой и подводной части в водонасыщенных грунтах общей протяженностью 15,5 м производили под защитой строительно-го водопонижения. Для откачивания воды насосом устраивали дренажный слой из щебня и водосборные колодцы. Откачиваемая вода протекала через дренажный слой щебня в водо-сборный колодец и сбрасывалась в реку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СП 32.13330.2010. Канализация. Наружные сети и сооружения: актуализир. ред. СНиП 2.04.03-85. -М., 2011.

2 Восстановление и сохранение пропускной способности металлических трубопроводов в целях повышения надежности водоснабжения и экономии материальных ресурсов. -М.: ЦНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1985. -46 с.

3 Надежность и безопасность водонесущих трубопроводов // Решение проблем экологической безопасности в водох-зяйственной отрасли: тез. докл. VI междунар. науч.-произв. конф. / под общ. ред. Ю.Н. Похила, А.М. Никитина. -Новосибирск, 2010.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дюкерный переход, трубопровод, подводная траншея, погружение плети

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Выжитович Михаил Ильич, главный эксперт КСП НСО

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630011, г.Новосибирск, ул.Кирова, 3, КСП НСО

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕГОРОЧНОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

П.С. Бурдяк

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF DRAW-OUT TRACK USED BY MEANS OF SINGLE ISOLATED PUSHES

Siberian state transport university

P.S. Burdyak

The article describes the experience of using a simulation model of rolling cuts at disbanding on draw-out track to the single isolated pushes.

Keywords: isolated single pushes, push speed, simulation model, exhaust path

Рассмотрен опыт применения имитационной модели скатывания отцепов при расформировании на вытяжном пути одиночными изолированными толчками.

Для изучения процесса расформирования составов одиночными изолированными толч-ками на кафедре «Железнодорожные станции и узлы» Сибирского государственного уни-верситета путей сообщения разработана имитационная модель [1], которая представляет собой две обособленные модели:

– модель движения маневрового состава (с локомотивом), включающая, разгон и тор-можение состава (программный продукт Маневры-2) [2];

– модель движения отцепа после отрыва от состава (программный продукт Скат-1) [3].

Основными фазами процесса расформирования состава одиночными изолированными толчками (ОИТ) являются:

- разгон;
- торможение состава, и отрыв отцепа;
- дальнейшее торможение маневрового состава (до остановки);
- оттягивание состава на вытяжной путь (при необходимости).

В данной работе предметом исследования являются конструктивные параметры НГСУ, процессы движения маневрового состава и отдельных отцепов при расформировании со-

ставов одиночными изолированными толчками.

Целью работы является определение технологических параметров НГСУ, используемых для расформирования составов одиночными изолированными толчками на станции К.

Объектом исследования является негорочное сортировочное устройство (НГСУ), при расформировании составов одиночными изолированными толчками на станции К. В качестве объекта исследования выбрана нечетная горловина станции – район работы №1. В качестве вытяжного пути использовался путь №19. Расформирование производилось на путях №5, 7, 15. Схема района расформирования приведена на рисунке 1. Продольный профиль и развернутый план путей приведен на рисунке 2.

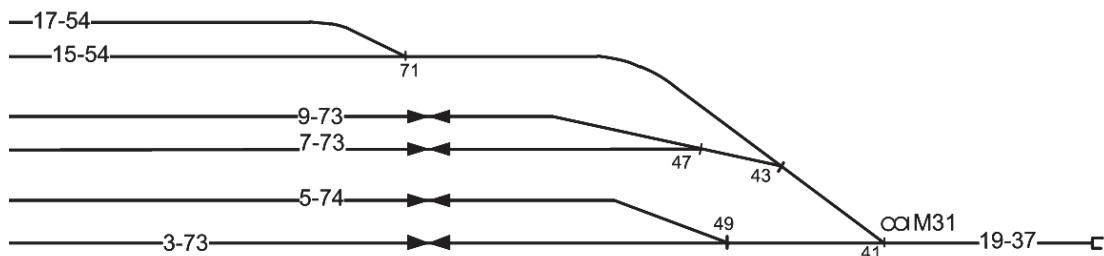


Рисунок 1 – Схема рассматриваемого негорочного сортировочного устройства

Для определения средних значений длины состава, длины вагона и массы вагона был проведен анализ 54 поездов, поступающих в переработку на станцию К и определены следующие характеристики, перерабатываемого вагонопотока:

- средняя длина состава 982,07 м;
- средняя длина вагона 18,08 м;
- средняя масса вагона 56,29 т;
- средняя масса состава 3057,15 т.

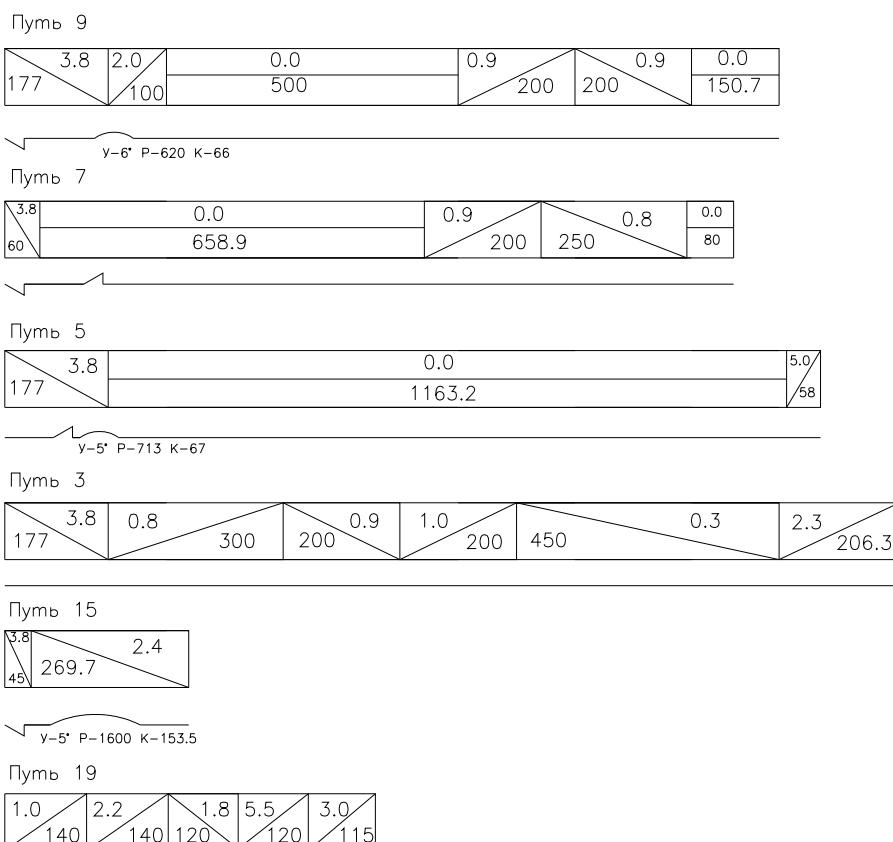


Рисунок 2 – Продольные профили и развернутые планы путей №3, 5, 7, 9, 15 и 19.

Был произведен хронометраж расформирования двух маневровых составов (из 13 и 11 вагонов) одиночными изолированными толчками на станции К. Хронометражные наблюдения движения маневрового состава производились непрерывно от начала маневрового по-

лурейса на вытяжном пути для выполнения первого толчка. Данные о скорости движения состава снимались со скоростемера локомотива. Расстояния, проходимые составом при передвижениях фиксировались в соответствии с масштабным планом станции перед началом выполнения полурейса и после остановки состава. Расстояния, проходимые отцепом фиксировались от места отрыва отцепа от состава до тормозного башмака, расположенного на пути назначения вагона. Скорость входа отцепа на тормозной башмак определялась на расстоянии 20 м от тормозного башмака путем измерения времени между проследованием 1-ой колесной пары 1-ой тележки и 1-ой колесной пары 2-ой тележки вагона. Точка отрыва отцепа от состава и место укладки тормозного башмака фиксировалась визуально относительно неподвижных ориентиров. Погрешность в обоих случаях не превышала величины одного условного вагона.

При использовании программы «Скат-1» для исходных данных и данных полученных хронометражными наблюдениями был произведен ряд сеансов имитационного моделирования скатывания отцепов по заданному маршруту, заданных скоростях начала движения отцепа и скорости входа отцепа на тормозной башмак. Расчетные метеорологические условия при имитации были такими же, как при выполнении хронометражных наблюдений.

Для проверки достоверности полученных данных был произведен анализ отклонения результатов, полученных хронометражем и имитационным моделированием (таблица 1).

Из таблицы 1 видно, что разность фактических данных и данных полученных имитационным моделированием (по модулю) не превышает погрешность измерений равную 28 м (длина двух условных вагонов).

Для подтверждения работоспособности имитационной модели и установления зависимости между данными полученными при хронометражных наблюдениях и при имитационном моделировании использован коэффициент корреляции r .

Таблица 1 – Сравнение расстояний, определенных при хронометраже и данных полученных при помощи имитационного моделирования

№ п/п	Фактические расстояния, проходимые отцепами при хронометраже, м	Расстояния, полученные методом имитационного моделирования, м	Разность фактических данных и данных полученных имитационным моделированием $ \Delta $, м
1	250	253	3
2	190	177	13
3	230	237	7
4	200	201	1
5	180	186	6
6	180	194	14
7	270	266	4
8	290	301	11
9	260	269	9

Коэффициент корреляции $r = \pm 1$ тогда и только тогда, когда X и Y линейно зависимы (исключая события нулевой вероятности, когда несколько точек «выбиваются» из прямой, отражающей линейную зависимость случайных величин) [4].

Коэффициент корреляции определен с помощью построения линии тренда и установления величины достоверности аппроксимации R^2 при использовании Microsoft Excel. На рисунке 3 представлена построенная линия тренда и величина достоверности аппроксимации.

Для данных расчетов коэффициент корреляции $r = 0,98 \approx 1$, что подтверждает линейность зависимостей между хронометражными и имитационными данными.

Использование имитационного моделирования процесса расформирования маневрового состава ОИТ, позволяет определить начальную скорость скатывания отцепа (скорость толчка), с учетом ходовых качеств, необходимого расстояния скатывания отцепа, метеорологических условий и исключения превышения допустимой скорости подхода отцепа к стоящим на путях вагонам (не более 5 км/ч). Если выполнение данного условия не представляется возможным (расположение путей парка и стрелочной зоны на уклоне, а так же влияние благоприятных метеорологических условий, обеспечивающих ускорение отцепов при самостоятельном скатывании), то двигающиеся вагоны, должна быть остановлены тормозными башмаками. В данном случае необходима проверка исключения превышения допустимой скорости входа на башмак (3,5 м/с) [5].

Согласно данным проведенного хронометражка (таблица 1) установлено, что максимальное расстояние скатывания вагонов после отрыва от состава (от сигнала М31, рисунок 1) составило 290 м. Таким образом, для дальнейших расчетов расстояние проходимое отцепом при следовании от сигнала М31 на 3, 5, 7, 9, 15-ый пути назначения для рассматриваемого НГСУ принято равным 300 м.

Анализ вагонопотока для определения скорости выполнения толчка отцепа массой 56,29 т установил основное удельное сопротивление движению (1,39 кгс/тс) [6].

Так для заданных параметров получены минимальные скорости выполнения толчков отцепов для обеспечения прохождения отцепами заданного расстояния (300 м) и проведена проверка исключения превышения допустимой скорости входа отцепа на башмак (3,5 м/с) при следовании на 3, 5, 7, 9, 15-ый пути парка. Данные представлены для благоприятных и неблагоприятных условий в таблице 2.

Таблица 2 – Начальные и конечные скорости движения отцепов

№ пути	Благоприятные условия		Неблагоприятные условия	
	Начальная скорость отцепа, м/с	Конечная скорость от- цепа, м/с	Начальная скорость отцепа, м/с	Конечная скорость от- цепа, м/с
3	1,4	2,17	1,4	1,2
5	1,4	2,6	1,4	1,85
7	2,6	0	1,8	0
9	1,4	1,73	1,5	0
15	1,4	3,04	1,4	2,47

Из данных таблицы 2 видно, что технологию расформирования составов одиночными изолированными толчками при использовании вытяжного пути №19 и путей парка №3, 5, 9, 15 следует производить, исключая возможность соединения движущихся отцепов со стоящими на пути вагонами, так как при минимальной скорости толчка скорость подхода расчетного бегуна превышает допустимую скорость соударения. При следовании расчетного бегуна на путь №7 для благоприятных и неблагоприятных условий требуется скорость толчка 2,6 и 1,8 м/с соответственно.

Торможение отцепов в парке при помощи тормозных башмаков обеспечит остановку, так как скорость входа отцепа на башмак не превышает для благоприятных метеорологических условий допустимого значения.

Использование имитационной модели для получения реальных технологических параметров процесса расформирования на примере станции К (район работы №1), позволило дать некоторые рекомендации по скорости выполнения толчка для отцепа средней массы 56,29 т. Для путей парка №3, 5, 9, 15 обоснована остановка отцепов при помощи тормозных башмаков с исключением соединения отцепов, со стоящими на пути вагонами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Разработка имитационной модели процесса расформирования состава одиночными изолированными толчками: отчет о НИР / С.В. Карапес, А.А. Климон, П.С. Бурдяк. -ГР №02201153107. -2011.

2 Карапес, с.В. Программа для расчета показателей маневровых полурейсов методом имитационного моделирования с элементами виртуального управления «Маневры-2» / с.В. Карапес, П.С. Бурдяк. -Деп. Нац. информ. фонд неопублик. док., №22502, 2010.

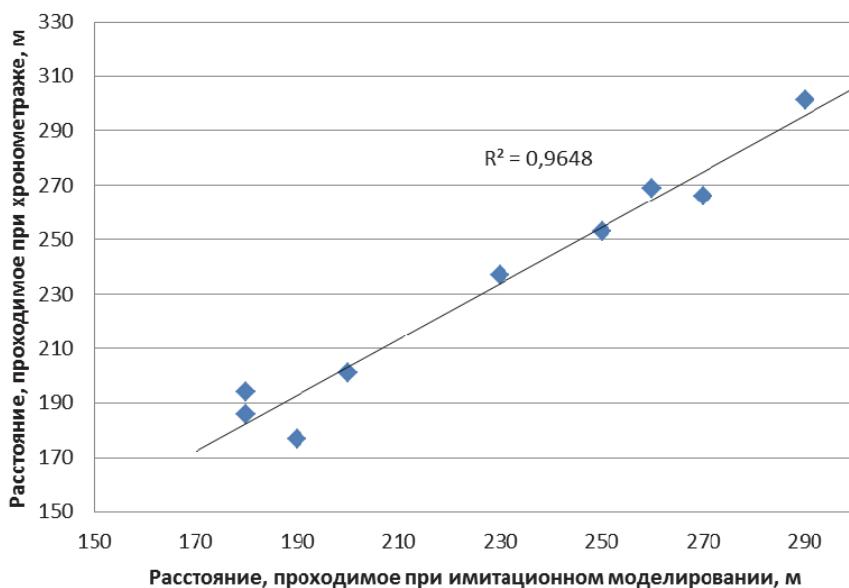


Рисунок 3 – Линия тренда, построенная по данным хронометражных наблюдений и при имитационном моделировании

ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО

- 3 Карасев, с.В. Программа имитационного моделирования движения отцепов при выполнении маневров толчками «Скат-1» / с.В. Карасев, П.С. Бурдяк. -Деп. Нац. информ. фонд неопублик. док., №22503, 2010.
- 4 Шмойлова, Р.А. Теория статистики: учеб. для экон. спец. вузов / Р.А. Шмойлова, Е.Б. Бесфамильная, Н.Ю. Глубокова. - М. : Финансы и статистика, 1996. -460 с.
- 5 Пособие по применению Правил и норм проектирования сортировочных устройств / Ю.А. Муха [и др.]. -М.: Транспорт, 1994. -220 с.
- 6 Правила и нормы проектирования сортировочных устройств на железных дорогах колеи 1520 мм / МПС РФ. -М.: Технформ, 2003. -168 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *изолированные одиночные толчки, скорость толчка, имитационная модель, вытяжной путь*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: *Бурдяк Павел Станиславович, инженер ФГБОУ ВПО «СГУПС»*
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: *630049, г.Новосибирск, ул.Д.Ко瓦льчук, 191, ФГБОУ ВПО «СГУПС»*

К ВОПРОСУ О ВОЛНОВОМ РЕЖИМЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.И. Сичкарев

TO THE QUESTION ABOUT THE WAVE MODE OF THE NORTH-EASTERN PART OF THE NOVOSIBIRSK RESERVOIR
Novosibirsk state academy of water transport
V.I. Sichkarev

Current excitement in the North-Eastern part of the Novosibirsk reservoir associated with the repeatability (regime security) calling his wind. It is shown that the excitement of the 1% probability with a height of 1.2 m is the total frequency of occurrence of less than 2% navigation time, which gives the basis for inclusion of this area of the reservoir to the category "P" according to the norms of the Russian River Register.

Keywords: wave conditions, class register

Расчётное волнение в северо-восточной части Новосибирского водохранилища сопоставлено с повторяемостью (режимной обеспеченностью) вызывающего его ветра. Показано, что волнение 1% обеспеченности высотой 1,2 м имеет суммарную повторяемость менее 2% навигационного времени, что даёт основание для отнесения этого участка водохранилища к разряду «Р» согласно норм Российского Речного Регистра.

Современное судоходство на реке Бердь, отнесённой Российским Речным Регистром (PPP) [1], к бассейнам разряда «Л», с выходом в реку Обь, отнесённую к разряду «Р», имеет интересную особенность: часть пути длиной 3 км пролегает по северо-восточной части Новосибирского водохранилища, отнесённого к разряду «О», и ещё 3 км – по Бердскому заливу [2]. По формальным признакам из-за отрезка пути в 3 км судоходство по этому маршруту возможно только для судов класса «О».

Представляется целесообразным выяснить, какому разряду в действительности соответствует волновой режим участка аванпорт – Бердский мыс (судовой ход реки Бердь от 0 км до 3 км).

Учитывая, что волномерных наблюдений на этом участке нет, доступным средством оценки волнового режима могут служить данные о многолетней повторяемости ветра со скоростью W и расчётные методы определения параметров волн.

Исследуемая акватория отличается мелководностью, сложным контуром береговой черты, наличием экранирующих островов с обширными отмелами. Это накладывает ограничения на угловой спектр волнения. В этих условиях целесообразно использовать лучевой метод расчёта волнения в заданной точке, описанный Г.В. Матушевским в [3] и в других работах. Угловой спектр волнения в этом методе представлен 7 лучами распространения волн от наветренной границы в исследуемую точку. Центральный, главный луч совпадает с направлением ветра Θ_0 , а с каждой стороны от него расположено по 3 луча. Каждый луч отстоит от предыдущего на $22,5^\circ$; таким образом перекрывается диапазон углов распространения волнения $\Theta_0 \pm \pi/2$. Вклад волнения, распространяющегося по каждому лучу, в общую высоту волны в исследуемой точке учитывается весовым коэффициентом. В итоге средняя высота волны в точке

$$h_{cp} = 0,1\sqrt{25h_0^2 + 21(h_1^2 + h_{-1}^2) + 13(h_2^2 + h_{-2}^2) + 3,5(h_3^2 + h_{-3}^2)}. \quad (1)$$

Средняя высота h_{cp} по каждому направлению (по лучу) вычисляется физико-статистическим методом с учётом пути разгона волн x (для развитого волнения), времени разгона волн t (для развивающегося волнения), глубины акватории H и средней скорости ветра W . В ряду физико-статистических методов наиболее обоснованным можно считать метод С.С. Стрекалова [4], описывающий относительную высоту волны

$$\frac{ghcp}{W^2} = 0,16 \left(1 - \frac{1}{1 + 0,006\sqrt{\frac{gx}{W^2}}} \right) \text{th} \left(0,625 \left(\frac{gH}{W^2} \right)^{0.8} \middle/ \left(1 - \frac{1}{1 + 0,006\sqrt{\frac{gx}{W^2}}} \right)^2 \right). \quad (2)$$

СУДОВОЖДЕНИЕ

Для перехода к волнам 1% обеспеченности, нормируемым РРР, на мелководной акватории необходимо пользоваться функцией распределения высот волн, предложенной Я.Г. Виленским и Б.Х. Глуховским:

$$F(h) = \exp\left(-\frac{\pi}{4\left(1+\frac{d}{\sqrt{2\pi}}\right)}\left(\frac{h}{h_{cp}}\right)^{\frac{2}{1-d}}\right), \quad (3)$$

где $d = \frac{h_{cp}}{H}$.

В качестве определяющих точек для расчёта волнения приняты точки судового хода 0 км, 2 км, точка схождения фарватеров (СФ), 4 км и 6 км маршрута аванпорт – река Бердь. В каждой определяющей точке по восьми главным и четвертным румбам (N, NE, E, SE, S, SW, W, NW) проведены лучи, вдоль которых измерены глубины и путь разгона волн до наветренного берега. В расчётах использована средняя глубина по каждому направлению.

На первом этапе выполнены расчёты высот волн 1% обеспеченности в определяющих точках для простых условий волнообразования (2)-(3) для скоростей ветра 7-15 м/с. Пример расчёта представлен в таблице 1.

Таблица 1 – Расчётное волнение в определяющих точках судового хода аванпорт-Бердский мост при скорости ветра $W = 15$ м/с

Точка	Направление	X , км	H , м	$h_{5/p}$	h_{cp} , м	$h_{1\%}$ на ГВ	$h_{1\%}$ на МВ
0 км	N	0,7	7,8	0,010092	0,231712	0,561206	0,579498
0 км	NE	0,5	8,4	0,008597	0,197374	0,47804	0,490284
0 км	E	2,1	5,5	0,016136	0,370479	0,897299	0,965694
0 км	SE	3,3	6,8	0,019692	0,452121	1,095036	1,177369
0 км	S	3,4	8,7	0,020511	0,470915	1,140557	1,209711
0 км	SW	65	10,6	0,04488	1,030417	2,49567	2,776338
0 км	W	22,5	7,8	0,033487	0,76883	1,862106	2,07466
0 км	NW	2,2	6,1	0,016647	0,382197	0,92568	0,991076
2	N	2,2	7,4	0,016944	0,38901	0,942181	0,997593
2	NE	2,2	7,7	0,016988	0,390021	0,94463	0,998079
2	E	1,4	5,1	0,013622	0,312743	0,757464	0,809784
2	SE	1,9	7,5	0,015931	0,365767	0,885888	0,934078
2	S	4,2	9,4	0,022458	0,515611	1,248811	1,325584
2	SW	65	9,2	0,041432	0,951256	2,303942	2,580793
2	W	20	8,1	0,03345	0,767992	1,860077	2,063752
2	NW	7	7	0,02518	0,578123	1,400213	1,532568
СФ	N	3,5	6,8	0,020115	0,461816	1,118518	1,204512
СФ	NE	2,3	5,3	0,016596	0,381035	0,922867	0,998202
СФ	E	1,1	8,5	0,012487	0,286697	0,694381	0,720175
СФ	SE	0,9	7,4	0,011357	0,260759	0,631558	0,656101
СФ	S	3,2	9,2	0,020099	0,461462	1,11766	1,18026
СФ	SW	2,1	10,4	0,016832	0,386444	0,935967	0,974387
СФ	W	12,1	11,4	0,033372	0,766194	1,855721	1,996839
СФ	NW	8	7,8	0,026946	0,618661	1,498397	1,634089
4	N	4,1	10,1	0,022385	0,513947	1,244779	1,31555
4	NE	2,4	8,2	0,017692	0,406196	0,983806	1,038197
4	E	0,7	7,6	0,010091	0,231692	0,561157	0,579941
4	SE	2,6	7,7	0,018212	0,418126	1,012701	1,074309
4	S	2,4	9,1	0,017785	0,408323	0,988958	1,038298
4	SW	1,4	8,7	0,013962	0,320563	0,776404	0,807998
4	W	0,8	9,7	0,010757	0,246968	0,598155	0,614793
4	NW	0,7	9,5	0,010096	0,231795	0,561408	0,576355
6	N	6	8,7	0,025301	0,580889	1,406913	1,513163
6	NE	0,8	6,1	0,010724	0,246223	0,596351	0,623016
6	E	1,5	7,2	0,014338	0,329184	0,797283	0,837841
6	SE	0,9	7,5	0,011359	0,26079	0,631634	0,655846
6	S	0,4	8,5	0,007723	0,177305	0,429433	0,439167

СУДОВОЖДЕНИЕ

Продолжение таблицы 1

Точка	Направление	X , км	H , м	$h_{\delta/p}$	h_{cp} , м	$h_{1\%}$ на ГВ	$h_{1\%}$ на МВ
6	SW	0,4	10,5	0,007723	0,177308	0,42944	0,437276
6	W	0,8	8,1	0,010752	0,246858	0,59789	0,617897
6	NW	2,3	8,8	0,017435	0,400292	0,969508	1,018569

На этом этапе определены наиболее критичные точки исследуемого маршрута и наиболее критичные направления ветра. Наиболее критичными оказались точки 0 км и 2 км, а наиболее критичными направлениями ветра – SW и W. Для этих точек и этих основных направлений Θ_0 применён лучевой метод (1) с расчётом лучевых составляющих высот волн по (1) и тех же скоростей ветра. Пример расчёта лучевым методом представлен в таблице 2.

Таблица 2 – Расчётное волнение в определяющих точках 0 км и 2 км с учётом конфигурации береговой черты для основного направления ветра W и SW и скорости W = 15 м/с

Луч	Направление	x	H	h_{cp_i}	точка	h_{cp}	$h_{1\%}$
0-15. Основное направление – W	-3	0,5	3,3	0,194549	0	0,63159712	1,51554942
	-2	33,4	9,6	0,901343	0		
	-1	21,6	8,7	0,803426	0		
	0	7,5	7,4	0,598734	0		
	1	4,8	6,6	0,510086	0		
	2	1,3	4,4	0,298714	0		
	3	0,2	7,8	0,126729	0		
0-15 – Основное направление – SW	-3	1,8	7,1	0,356297	0	0,66506972	1,59582993
	-2	2,5	7,5	0,410584	0		
	-1	1,1	3,3	0,268359	0		
	0	47,2	9,6	0,943047	0		
	1	21,7	8,7	0,804072	0		
	2	5,3	7,4	0,540094	0		
	3	2	6,6	0,370659	0		
2-15 Основное направление – W	-3	0,6	10,3	0,215383	2 км	0,69070943	1,65879218
	-2	18,7	9,1	0,796932	2 км		
	-1	24,2	10,1	0,873433	2 км		
	0	12,7	9,5	0,740856	2 км		
	1	7	7,1	0,580534	2 км		
	2	3	4,9	0,409894	2 км		
	3	1,1	6,6	0,285546	2 км		
2-15 Основное направление – SW	-3	0,8	9,6	0,246964	2 км	0,67538794	1,62380767
	-2	2,9	9,4	0,443455	2 км		
	-1	1,5	10,3	0,331512	2 км		
	0	26,4	9,1	0,847831	2 км		
	1	24,2	10,1	0,873433	2 км		
	2	9	9,5	0,673059	2 км		
	3	2,9	7,1	0,433222	2 км		

Сравнение таблиц 1 и 2 показывает, что лучевой метод даёт меньшие и более реалистичные высоты волн.

Для расчёта повторяемости волнения 1% обеспеченности высотой, превышающей нормируемую величину 1,2 м, из расчётных таблиц для простых условий волнообразования (с завышенными высотами по сравнению с лучевым методом) выбраны скорости и направления ветра, при которых $h_{1\%} \geq 1,2$ м. Этим параметрам ветра поставлена в соответствие их повторяемость за навигационный период 1990-2010 гг. по данным Института водных и экологических проблем СО РАН [5]. Подсчёт суммарной повторяемости волнения $h_{1\%} \geq 1,2$ м дал величину 1,826%.

Согласно нормам РРР [1], для отнесения бассейна к разряду «Р» необходимым условием является значение суммарной повторяемости волнения 1% обеспеченности высотой 1,2 м не более 4% навигационного времени. Следовательно, участок аванпорт-Бердский мост Новосибирского водохранилища по ветро-волновому режиму может быть отнесен к разряду «Р».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Российский Речной Регистр. Правила. В 4 т. Т. 1. Положение о классификации судов внутреннего и смешанного (река-море) плавания. -М., 2008. -317 с.
- 2 Карта Новосибирского водохранилища / ФГУ «Обское ГБУ вод. путей и судоходства». -Новосибирск: Арта, 2007. -24 л.
- 3 Руководство по расчёту параметров ветровых волн / ММФ СССР. -Л.: Гидрометеоиздат, 1969. -139 с.
- 4 Крылов, Ю.М. Ветровые волны и их воздействие на сооружения / Ю.М. Крылов, С.С. Стрекалов, В.Ф. Цыплухин. -Л.: Гидрометеоиздат, 1976. -256 с.
- 5 Новосибирское водохранилище / А.А. Атавин [и др.]; Ин-т вод. и экол. проблем СО РАН. -Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. -47 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: волновой режим, класс регистра

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Сичкарев Виктор Иванович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ТРЁХАНТЕННОГО GPS-КОМПАСА JLR-20 НА ОШВАРТОВАННОМ МАЛОТОННАЖНОМ СУДНЕ

НОУ ВПО «Дальневосточный институт коммуникаций»

Ю.А. Комаровский

RANDOM ERRORS FOR A THREE-ANTENNA GPS-COMPASS JLR-20 ON BOARD OF A MOORED SMALL-DISPLACEMENT VESSEL

Far-Eastern institute of communications

Yu.A. Komarovskiy

We have presented our analysis of the results of statistical processing of experimental observations obtained for a GPS-compass JLR-20 operating on board of a vessel with a displacement of 210 tons. For the duration of the experiment, the vessel was moored at the pier. After elimination of the parabolic trend, the mean square error rate was ± 0.52 degrees. This compares favorably with an accuracy of marine gyrocompasses. We have remarked on improving the accuracy of JLR-20 by way of developing a mathematical model of the error corrections for three-antenna GPS-compasses.

Keywords: GPS-compass, error of heading, compass correction

Представлены и проанализированы результаты статистической обработки экспериментальных наблюдений за работой GPS-компаса JLR-20 на судне водоизмещением 210 т. Судно при этом стояло у причала. После устранения параболического тренда средняя квадратическая погрешность курса составила $\pm 0,52$ градуса. Это сопоставимо с точностью судовых гирокомпасов. Намечены пути повышения точности JLR-20 за счёт разработки математической модели поправки трёхантенных GPS-компасов.

Спутниковые GPS-компасы устанавливаются на судах Дальневосточного бассейна уже давно. Несмотря на это, до сих пор эксплуатация данного курсоуказателя сопровождается целым рядом неизученных аспектов, от которых напрямую зависит безопасность плавания судна. Здесь в первую очередь подразумеваются характеристики точности и надёжности показаний компасов. В настоящее время промышленность серийно изготавливает двухантенные и трёхантенные GPS-компасы. Поскольку трёхантенный компас имеет три измерительных базы, а двухантенный – только одну, то априори первый считается заведомо более точными. Чтобы подтвердить или опровергнуть это утверждение, необходимы многочисленные эксперименты при различных внешних условиях. К сожалению, полномасштабные экспериментальные наблюдения выполнить не удается из-за отсутствия в распоряжении исследователей образцов судовых двухантенных и трехантенных GPS-компасов. Поэтому сбор статистического материала приходится выполнять непосредственно на судах в условиях, не всегда полностью отвечающих требованию чистоты эксперимента.

Наиболее подходящим местом наблюдений был выбран пассажирский теплоход «Владимир Родик», оборудованный трёхантенным GPS-компасом JLR-20 японской компании JRC (Japan Radio Corporation). Длина измерительной базы этого компаса составляет 450 мм. Пассажирский теплоход «Владимир Родик» (проект 1975) имеет длину 38,35 м, ширину 6,7 м, осадку 2,2 м, пассажировместимость 180 человек и водоизмещение порожнём 211 т.

Необходимыми условиями наблюдений за работой компаса на судне являлись штилевая погода, отсутствие проходящих мимо судов, создающих волну, отсутствие препятствий распространению сигналов спутников и обтянутые втугую швартовы. Наблюдения проводились 22 сентября 2010 г. В этот день теплоход большее время стоял ошвартованным левым бортом к пирсу Чуркинской паромной переправы носом в сторону юга. Днём действовал слабый северо-западный прижимной ветер. Вечером и ночью стоял полный штиль.

Так как выход GPS-компаса JLR-20 был подключён к другим судовым приборам, то для фиксации значений курса нельзя было использовать внешнее запоминающее устройство. Регистрация показаний компаса производилась автором визуально через 5 секунд с записью в бумажные протоколы. Наблюдения выполнялись сериями. Запись некоторых серий пришлось прекратить из-за волн проходивших мимо судов, а также из-за швартовок к теплоходу «Владимир Родик» других пассажирских судов. В итоге для дальнейшей обработки были отобраны три серии наблюдений продолжительностью приблизительно 1,5 часа каждая. Отобранный материал в последствии был автором оцифрован и обработан. График изменения курса в ходе первой серии наблюдений можно видеть на рисунке 1.

Из анализа рисунка 1 следует, что на данном интервале времени наблюдается реализация нестационарного случайного процесса, представляющего собой суперпозицию параболического тренда (сплошная линия на рисунке 1), а также колебаний с разными периодами и амплитудами. Два первых экстремальных отклонений курса от линии тренда произошли через 36 минут, что не может быть вызвано рысканием судна на курсе даже при ослабленных швартовых. Следует напомнить о том, что во время выполнения первой серии наблюдений действовал прижимной ветер, который не мог вызвать подобные отклонения курса. Затем можно видеть колебания курса с периодами 6-12 минут, что также нельзя объяснить динамикой корпуса судна такого водоизмещения. На рисунках 2 и 3 представлены графики изменения курса теплохода «Владимир Родик» в ходе выполнения второй и третьей серий экспериментальных наблюдений 22 сентября соответственно.

Для сравнения полученных выборок были рассчитаны стандартными способами их средние значения курсов, средние квадратические отклонения (СКО), размахи варьирования, асимметрии и эксцессы. Результаты



Рисунок 1 – Распределение курса в первой серии наблюдений

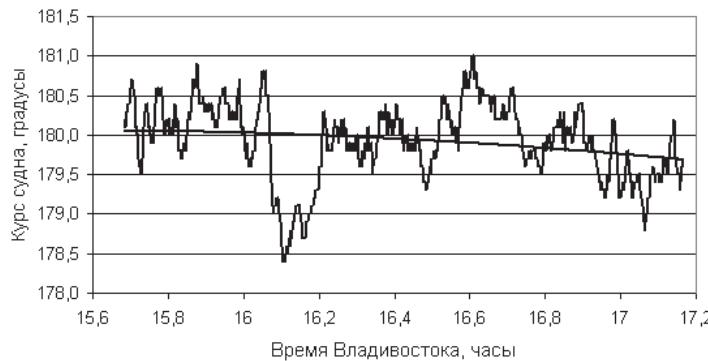


Рисунок 2 – Распределение курса во второй серии наблюдений

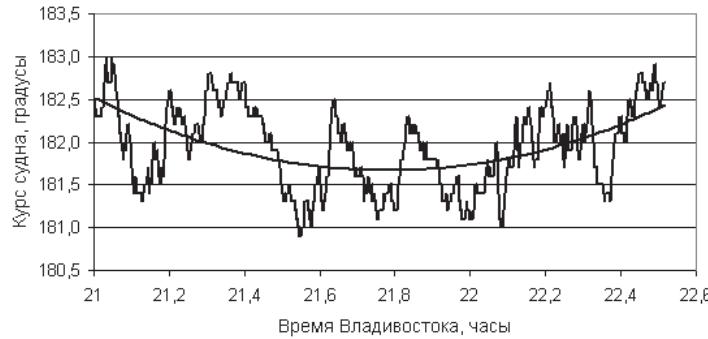


Рисунок 3 – Распределение курса в третьей серии наблюдений

Таблица 1 – Параметры распределения курсов

Параметр	Серия 1	Серия 2	Серия 3
Среднее	182,023°	179,921°	181,936°
СКО	0,628°	0,488°	0,487°
Размах варьирования	3,5°	2,6°	2,1°
Асимметрия	0,14	-0,589	-0,015
Эксцесс	0,015	0,149	-1,023
Объём выборки	1157	1068	1093

вычислений параметров помещены в таблицу 1.

Анализ рисунков 1-3 и таблицы 1 позволяет сформулировать следующие выводы. Характер изменения курса во всех трёх сериях наблюдений приблизительно одинаков. Графики трендов на рисунках являются признаком присутствия систематической погрешности, изменяющейся со временем. Наибольшее её изменение наблюдается в третьей серии. Здесь она изменилась на 0,8 градуса за 1,5 часа. Средние значения курсов в сериях значительно отличаются, что также является признаком присутствия систематической погрешности. В качестве меры распределения случайной погрешности рассматривается СКО, которое, как показывают вычисления, колеблется возле значения $\pm 0,5^\circ$. Такой уровень точности, полученный для судна, которое даже в первом приближении нельзя признать неподвижным, может быть признан вполне приемлемым. Несмотря на существенный вклад систематической погрешности в показания третьей серии, о чём можно судить по значительной отрицательной величине эксцесса, в условиях штиля и отсутствия движения судов по бухте Золотой Рог компас JLR-20 работал точнее. Малые величины асимметрии и эксцессов служат признаками того, что эмпирическая плотность распределения зарегистрированных курсов представляет собой симметричную унимодальную функцию, близкую к кривой Гаусса.

На следующем этапе обработки была применена процедура центрирования исходных данных, для чего из них устранилась систематическая погрешность. В качестве модели тренда была принята парабола вида

$$K = a_1 t^2 + a_2 t + a_3,$$

где K – курс судна, град;
 t – время суток, час;
 a_1, a_2, a_3 – коэффициенты, полученные в результате регрессионного анализа.

Полученные в ходе обработки данных коэффициенты a_1, a_2, a_3 сведены в таблице 2.

Параметры распределения центрированных курсов собраны в таблице 3.

Если сравнить таблицы 1 и 3, то можно сделать заключение о том, что наиболее успешно устранение систематической погрешности произошло в третьей серии, так как центрированное среднее там практически равно нулю, а также значительно уменьшился размах варьирования.

Дальнейшее исследование случайной погрешности свелось к получению вида её эмпирической плотности вероятности. На основании близости выборочных точечных оценок СКО центрированные значения курсов трёх серий объединялись в одну выборку. Её объём достигал 3318 значений со средним $-0,00034^\circ$ и СКО, равным $0,515^\circ$. Следовательно, даже при неблагоприятных условиях компас JLR-20 обеспечивает точность не хуже точности гирокомпаса. Асимметрия и эксцесс составили $-0,062$ и $0,476$ соответственно. Гистограмма эмпирической плотности распределения центрированного курса и соответствующая ему кривая Гаусса выравнивающих частот представлены на рисунке 4.

Сравнение гистограммы с кривой выравнивающих частот позволяет сделать заключение о близости полученного эмпирического закона распределения погрешностей измерения

Таблица 2 – Коэффициенты параболических регрессий

Коэффициент	Серия 1	Серия 2	Серия 3
a_1	0,3315	-0,1353	1,4006
a_2	-7,1	4,1956	-61,009
a_3	219,95	147,53	846,03

Таблица 3 – Параметры распределения курсов после устранения систематической погрешности

Параметр	Серия 1	Серия 2	Серия 3
Среднее	$-0,00458^\circ$	$0,00466^\circ$	$0,00002^\circ$
СКО	$0,619^\circ$	$0,476^\circ$	$0,423^\circ$
Размах варьирования	$3,498^\circ$	$2,716^\circ$	$1,854^\circ$
Асимметрия	0,267	-0,8	-0,087
Эксцесс	0,097	0,903	-0,793
Объём выборки	1157	1068	1093

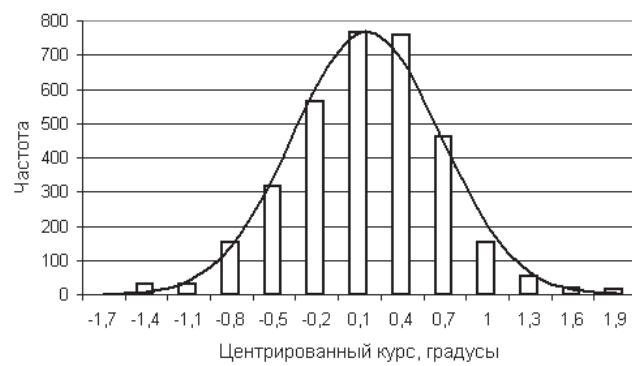


Рисунок 4 – Эмпирическая плотность распределения центрированного курса

СУДОВОЖДЕНИЕ

курса GPS-компасом JLR-20 к закону распределения Гаусса.

Дальнейшее увеличение точности компаса JLR-20 может быть осуществлено после разработки математической модели поправки спутникового трёхантенного компаса. Такая модель, как и в случае двухантенного GPS-компаса [1, 2], должна учитывать расположение спутников относительно судна и время суток.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Повторяемость погрешностей курса спутникового компаса JLR-10T / Ю.А. Комаровский // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№2. -С. 144-148.

2 Комаровский, Ю.А. Влияние расположения спутников на точность работы GPS-компаса JLR-10T / Ю.А. Комаровский // Проблемы транспорта Дальнего Востока (FEBRAT-09): плenар. докл. восьмой междунар. науч.-практ. конф., 30 сент.-2 окт. 2009 г. / ДВО Рос. акад. трансп. -Владивосток, 2009. -С. 103-105.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-компас, погрешность курса, поправка компаса

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент НОУ ВПО «ДВИК»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690013, г.Владивосток, ул.Каплунова, 7, НОУ ВПО «ДВИК»

СХОДИМОСТЬ ОЦЕНОК ТОЧНОСТИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКА GP-37 В БЛИЗИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СТАНЦИИ

**НОУ ВПО «Дальневосточный институт коммуникаций»
ФГБУН «Институт автоматики и процессов управления»
Дальневосточного отделения РАН**

Ю.А. Комаровский, В.А. Кац

CONVERGENCE OF PRECISION ESTIMATES FOR A VESSEL'S COORDINATES OBTAINED BY GPS RECEIVER GP-37 NEAR A DGPS STATION

**Far-Eastern Institute of communications
Institute of automation and control processes
Yu.A. Komarovskiy, V.A. Katz**

We have considered estimates of the precision of a vessel's coordinates obtained with an on-board DGPS receiver. Analysis of experimental data has shown that, at a distance of 4.6 km from a DGPS station, standard deviations (SD) of latitude and longitude reach ± 0.87 m ± 0.66 m respectively. We have shown the character of changes in the mean and standard deviation of coordinates with increasing sample size. We have also determined the influence of cyclonic activity on the precision of the coordinates of a vessel near a DGPS station. These results open up the prospect of the development of algorithms for improving the precision of a vessel's coordinates in areas with DGPS availability.

Keywords: GPS-receiver, convergence of precision estimations, differential corrections, DGPS accuracy

Рассмотрена оценка точности определения координат судна с помощью GPS-приёмника, работающего в дифференциальном режиме. Обработка экспериментального материала показала, что на расстоянии 4,6 км от станции DGPS средние квадратические отклонения (СКО) широты и долготы достигают $\pm 0,87$ м и $\pm 0,66$ м соответственно. Показан характер изменений средних и СКО координат по мере увеличения объёма выборки. Обнаружено влияние циклонической деятельности на точность координат судна вблизи станции DGPS. Полученные результаты открывают перспективу разработки алгоритмов повышения точности координат судна в зонах действия DGPS.

Проблема оценки точности работы судовых GPS-приёмников в дифференциальном режиме до сих пор остаётся недостаточно исследованной. Частично это можно объяснить тем, что после устранения в системе Навстар GPS режима избирательной доступности (selective availability) точность автономной работы приёмников уже становится менее ± 5 м. Поэтому создаётся ложное представление того, что для решения многих практических задач судовождения такая точность становится уже избыточной. Между тем, в нашей стране сеть дифференциальных GPS-станций непрерывно расширяется. Вступили в строй ряд станций DGPS в портах морей Дальнего Востока. Происходит их развертывание вдоль трассы Северного морского пути. Сооружаются станции на внутренних водных путях России. Для эффективного и безопасного использования в судовождении технологий, основанных на применении дифференциальной коррекции, нужна детальная информация о точности определения плановых координат (широты и долготы) судна.

Одним из важнейших аспектов затронутой проблемы является разработка оперативных способов получения точечных оценок распределения обсервованных плановых координат, что напрямую связано с необходимостью изучения скорости сближения этих оценок с эмпирическими генеральными средними и средними квадратическими отклонениями (СКО). По-

этому цель данной статьи заключается в определении необходимого и достаточного времени выполнения экспериментальных наблюдений, чтобы получить в итоге их обработки достоверные оценки точности.

Рассмотрим процесс сходимости оценок точности обсервованных координат. Рассматривается ситуация, когда в точке с известными широтой φ и долготой λ неподвижно установлена антenna GPS-приёмника, непрерывно принимающего корректирующую информацию от станции DGPS. Обсервованные плановые координаты через равные промежутки времени регулярно записываются в память компьютера. Будем считать последовательность зафиксированных таким образом обсервованных плановых координат (например, широт) как последовательность случайных величин. Тогда будет дана выборка, состоящая из последовательности случайных величин

$$x_1, x_2, \dots, x_n, \dots (1)$$

Рассмотрим случайные величины X_n , являющиеся некоторыми заданными симметрическими функциями от первых n величин последовательности (1)

$$X_n = F_n(x_1, x_2, \dots, x_n).$$

Если есть такая последовательность констант

$$a_1, a_2, \dots, a_n, \dots$$

что при любом сколь угодно малом $\varepsilon > 0$

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\{|X_n - a_n| < \varepsilon\} = 1, \quad (2)$$

то последовательность (1) подчиняется закону больших чисел с заданными функциями X_n . Чаще всего функции X_n интерпретируются как средние арифметические величин x_1, x_2, \dots, x_n . Поэтому выражение (2) воспринимается следующим образом: при числе наблюдений, стремящимся к бесконечности, событие

$$|X_n + a_n| < \varepsilon,$$

где ε – наперёд заданная малая положительная величина, становится практически достоверным.

Будем считать, что X_n есть среднее арифметическое величин $x_1, x_2, \dots, x_n, \dots$. Если в соотношении (2) все величины a_n равны одной и той же величине a , то считается, что случайные величины X_n сходятся по вероятности к a . В этих понятиях соотношение (2) означает, что $X_n - a_n$ сходится по вероятности к нулю.

В нашем случае рассматривается ситуация, когда фиксируются координаты неподвижного приёмника системы Навстар GPS, установленного на пункте, истинная широта (долгота) которого есть a . Среднее арифметическое для широт записывается как

$$\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i,$$

где N – общее число наблюдений в выборке;

φ_i – i -ое значение широты выборки.

Тогда с позиции закона больших чисел (2) среднее арифметическое широты будет по вероятности сходиться к истинному значению широты пункта, в котором установлена антenna

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P\left\{\left|\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \varphi_i - a\right| < \varepsilon\right\} = 1 \quad (3)$$

Несмотря на очевидность идеи, заложенной в законе больших чисел в форме (2), строгое её доказательство для любых случайных величин до сих пор представляет математическую сложность. Классические доказательства теорем закона больших чисел, сделанные П.Л. Чебышевым и А.А. Марковым, предполагают, что случайные величины независимы.

В работах [1, 2] показано присутствие систематических погрешностей в показаниях координат приёмника системы Навстар GPS. Это недвусмысленно свидетельствует о присутствии зависимости в последовательностях регистрируемых координат неподвижного приёмника. Поэтому осреднение координат неподвижного приёмника формально не может обеспечить сходимость к истинной широте и долготе.

В семидесятые годы минувшего столетия математики исследовали проблемы сходимости, определяя условия, которые следует наложить на зависимые величины, чтобы для них

выполнялся закон больших чисел. В работе [3] изложено доказательство версии теоремы А.А. Маркова при таких необходимых и достаточных условиях, при которых применим закон больших чисел для последовательности случайных величин с произвольной зависимостью.

Для того чтобы для последовательности x_1, x_2, \dots, x_n , как угодно зависимых случайных величин при любом положительном ε выполнялось соотношение

$$\lim_{n \rightarrow \infty} P \left\{ \left| \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M(x_k) \right| < \varepsilon \right\} = 1 , \quad (4)$$

необходимо и достаточно, чтобы при $n \rightarrow \infty$

$$M \left\langle \frac{\sum_{k=1}^n [x_k - M(x_k)]^2}{n^2 + \left\{ \sum_{k=1}^n [x_k - M(x_k)]^2 \right\}} \right\rangle \rightarrow 0 . \quad (5)$$

В выражениях (4) и (5) M означает математическое ожидание случайной величины.

Выражение (4) более приемлемо для обоснования сходимости координат. По сравнению с (2) в выражении (4) $\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M(x_k)$ является приближением к a . Поскольку здесь рассматривается ситуация зависимых усредняемых величин, то разность $\Delta = a - \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n M(x_k)$ представляет собой поправку к координатам. Причём из этого вовсе не следует, что при $n \rightarrow \infty$ разность $\Delta \rightarrow \infty$. Если приёмник системы Навстар GPS имеет инструментальные погрешности определения широты, долготы и возвышения антенны, то как бы ни увеличивалось число наблюдений, разность Δ никогда не будет равна нулю. Главное, что заключено в подходе (4) – это обоснование обязательной сходимости к средней величине, полученной за очень большое число наблюдений, даже при влиянии систематической погрешности.

Из выражения (4) следуют три важных вывода. Во-первых, чтобы координаты неподвижного приёмника сходились к истинным координатам пункта, необходимо знать инструментальные погрешности приёмника. Во-вторых, чтобы сократить число наблюдений, необходимо знать закон изменения систематических погрешностей с самыми большими периодами (лунные, сезонные, годовые и т.д.). В-третьих, в ходе исследований сходимости усредняемых координат можно получить величину ε , которая будет характеристикой абсолютной точности, с которой определяются истинные координаты пункта.

Главная проблема в накоплении усредняемых координат навигационным приёмником заключается в оценке необходимого и достаточного времени наблюдений для достижения заданной точности определения координат пункта. Очевидно, это время будет зависеть не только от уровня случайных погрешностей, содержащихся в отсчётах обсервованных координат, но и от периодов и амплитуд систематических погрешностей, причиной которых являются процессы, протекающие в ионосфере и тропосфере. Необходимое и достаточное время осреднения, несомненно, будет зависеть и от типа приёмника. Сформулированные выводы можно распространить и на точечные оценки СКО, если рассматривать их также в качестве случайных величин.

Совсем неисследованной областью является сходимость точечных оценок генеральных средних и генеральных СКО, когда приёмник DGPS находится в непосредственной близости от дифференциальной станции. Поэтому были предприняты экспериментальные наблюдения с 9 октября по 19 октября 2012 года на берегу бухты Шепалово (Гранитная). Приёмник DGPS GP-37, изготовленный компанией Furuno, был неподвижно установлен на расстоянии 2,48 мили (4607,5 м) от DGPS-станции мыса Поворотного (Находка). Приёмник в автоматическом режиме принимал дифференциальные поправки. Информация от приёмника в формате NMEA 0183 непрерывно записывалась на жёсткий диск ноутбука. За всё время наблюдений произошло два перерыва в работе экспериментальной установки из-за кратковременных отключений электропитания. В ходе предварительной обработки полученного экспериментального материала было обнаружено, что 9 октября дифференциальные поправки не принимались в течение 22,9 минут, 17 октября – в течение 8,9 минут и 18 октября – в течение 60,2 минут. Зарегистрированные в этих интервалах времени координаты для дальнейшей обработки не принимались. Всего было получено 931952 пар широт и долгот, которые

были определены приёмником с учётом дифференциальных поправок станции мыса Поворотного.

На первом этапе были получены точечные оценки генеральных средних широты φ_0 и долготы λ_0 , а также генеральных СКО широты σ_φ и долготы σ_λ . Результаты вычислений оценок точности по всей выборке помещены в таблицу 1. В неё средние широты и долготы вошли только динамической частью, так как их целевые значения минут и тем более градусов не изменились от обсервации к обсервации.

Для анализа сходимости будем использовать величину отклонения оценки, полученной в результате обработки массива данных, накопленных за данный период времени, от оценки таблицы 1. На рисунке 1 можно видеть отклонения усредняемой в течение суток широты от оценки среднего таблицы 1 за 11,12, 13, 14, 15 и 16 октября.

Анализ графиков рисунка 1 позволяет сделать следующие выводы. Отклонения средних широт, полученных за первые 5 минут суток, могут доходить до 2,35 м. Отклонения, доходящие до 0,5 м, от оценки среднего могут наблюдаться ещё в течение 7 ч осреднения. Характер изменения усредняемой широты значительно меняется от суток к суткам.

На рисунке 2 представлены графики отклонения СКО широты за те же сутки экспериментальных наблюдений.

На рисунке 2 можно видеть колебательный процесс сходимости СКО широты, который представляет собой суперпозицию низкочастотной компоненты с периодом, превышающим сутки, и высокочастотную компоненту с периодом порядка 4-6 ч. По сравнению с усредняемой широтой процесс сходимости СКО широты протекает медленнее. Отклонения средних значений и СКО широты и долготы на конец каждого перечисленных выше суток представлены в таблице 2.

Из таблицы 2 следует, что за одни сутки оценки точности обсервованной долготы сходятся быстрее оценок широты. Видно, что наиболее неблагоприятным днём с точки зрения точности определения обсервованных координат с помощью дифференциальных поправок был 16 октября 2012 года. В этот день начал действовать циклон, но геомагнитная обстановка была спокойной. На рисунках 1 и 2 графики сходимости отклонений, построенных по данным 16-го октября, более всех отстоят от нуля. Сильная магнитная буря наблюдалась 13-го октября, но оценки точности координат за эти сутки не претерпели значительного отклонения.

Таблица 1 – Точечные оценки средних и СКО координат DGPS-приёмника GP-37 в эксперименте в октябре 2012 года в Шепалово

Оценка	Широта	Долгота
Среднее, мин	0,49753546	0,40819348
СКО, мин	0,000472843	0,000486325
СКО, м	0,875	0,664

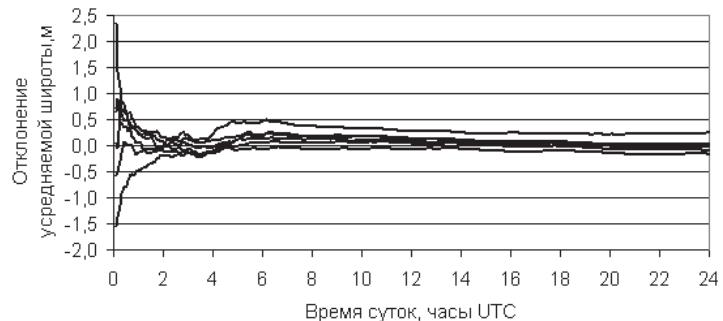


Рисунок 1 – Сходимость усредняемой широты за одни сутки

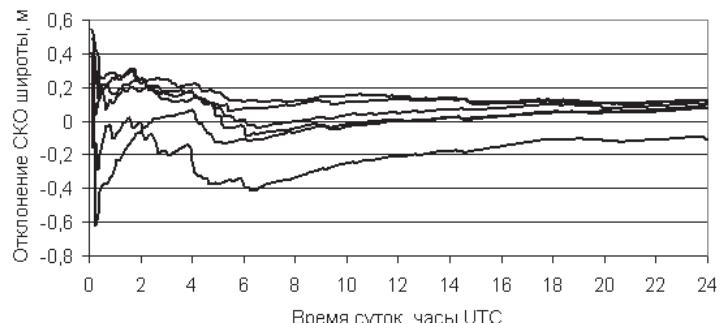


Рисунок 2 – Сходимость СКО широты за одни сутки

Таблица 2 – Отклонения в метрах средних и СКО широты и долготы за одни сутки наблюдений в октябре 2012 года в Шепалово

Параметр	Дата наблюдений					
	11.10	12.10	13.10	14.10	15.10	16.10
φ_{CP}	-0,163	-0,087	0,026	-0,034	0,002	0,253
СКО φ	0,115	0,119	0,073	0,097	0,074	-0,109
λ_{CP}	-0,067	-0,062	0,012	0,014	0,006	0,117
СКО λ	0,074	0,074	0,047	0,033	0,045	-0,114

СУДОВОЖДЕНИЕ

Отклонения оценок, полученных за трое подряд идущих суток, уже не превышали 0,1 м. Отклонения, полученные за все 6 суток, от оценок таблицы 1 были меньше 0,05 м. Следовательно, для получения надёжных оценок точности работы GPS-приёмника вблизи дифференциальной станции требуются непрерывные экспериментальные наблюдения продолжительностью не менее 4-5 суток.

По результатам, полученным в ходе обработки собранного в октябре 2012 года статистического материала, можно сделать следующие выводы.

1 Наиболее медленно сходится СКО широты.

2 Приём дифференциальных поправок даже на малых расстояниях от контрольно-корректирующей станции полностью не устраняет влияния внешних факторов на точность работы GPS-приёмника.

3 Используя дополнительный программный арсенал, можно увеличить точность координат судна в зонах действия DGPS.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Комаровский, Ю.А. Исследование модели погрешностей определения места судна приёмником СРНС Навстар GPS / Ю.А. Комаровский // Трансп. дело России. -М., 2004. -№2: специал. -С. 15-19.

2 Комаровский, Ю.А. Сезонные изменения точности координат дифференциального режима работы GPS-приёмника на морском шельфе / Ю.А. Комаровский // Гидротехника. -2014. -№4. -С. 111-113.

3 Гнеденко, Б.В. Курс теории вероятностей / Б.В. Гнеденко. -Изд. пятое, стереотип. -М.: Наука, 1969. -400 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: GPS-приёмник, сходимость оценок точности, дифференциальные поправки, точность DGPS

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Комаровский Юрий Александрович, канд. техн. наук, доцент НОУ ВПО «ДВИК»

Кац Владимир Александрович, главный специалист-программист ИАПУ ДВО РАН

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 690013, г.Владивосток, ул.Каплунова, 7, НОУ ВПО «ДВИК»

690041, г.Владивосток, ул.Радио, 5, ИАПУ ДВО РАН

НЕЧЕТКАЯ ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ СО СТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ

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

В.А. Седов, Н.А. Седова

A FUZZY-PRODUCTION MODEL OF SHIP COLLISION AVOIDANCE WITH STATIONARY OBJECTS

Maritime state university named after G.I.Nevelskoi

V.A. Sedov, N.A. Sedova

A model of ship collision avoidance with stationary objects based on the theory of fuzzy sets and which consists of three input linguistic variables and one output is presented in this paper. The fuzzy sets corresponding to the term of these linguistic variables and their graphical view is represented. The product base contains 216 fuzzy rules.

Keywords: ship collision avoidance, object position, ship direction, linguistic variable, fuzzy set

Представлена модель, базирующаяся на теории нечетких множеств, расхождения судов со стационарными объектами, состоящая из трёх входных лингвистических переменных и одной выходной. В работе представлены нечеткие множества, соответствующие термам указанных лингвистических переменных, их графическое представления. База нечетких продукции содержит 216 правил.

Ежегодное увеличение числа судов при постоянной тенденции сокращения численности экипажа является объективной предпосылкой повышения степени опасности мореплавания. Безопасность движения судна во многом зависит не только от опыта конкретного судоводителя, знания им установленных правил и положений, но и от его умения грамотно использовать радиоэлектронные средства обеспечения безопасности плавания в комплексе с другим навигационным оборудованием, входящим в систему управления судном. При этом в условиях ограниченной видимости и/или стесненного судоходства задача расхождения с другими объектами намного усложняется, при этом основным радиоэлектронным средством, являющимся источником информации об окружающей обстановке и обеспечивающим безопасность плавания в реальном режиме развития ситуации является судовая радиолокационная станция (РЛС). Разрабатываемая авторами модель нечеткой производственной системы получает информацию о стационарных объектах с РЛС и дает судоводителю рекомендации по проведению маневра расхождения.

Описание нечеткой производственной модели. Для определения маневра расхождения

судна со стационарными объектами с РЛС поступает информация о наличии/отсутствии объектов для расхождения, величине дистанции до объектов и положении объектов относительно нашего судна. Таким образом, нечеткая производная модель состоит из трёх входных лингвистических переменных (ЛП): положение спереди (Front), положение слева (Left) и положение справа (Right), термы которых определяются дистанцией до объекта. Все три входные ЛП характеризуется базовым терм-множеством: {столкновение с препятствием обозначено С от «crash» (LC для столкновения слева, RC – справа), препятствие близко – ОС от «obstacle close» (для ЛП «Положение слева» LOC, для ЛП «Положение справа» – ROL), до препятствия меньше полпути – OILTH от «obstacle is less than halfway» (для ЛП «Положение слева» LOILTH, для ЛП «Положение справа» – ROILTH), препятствие на полпути – HTTO «halfway to the obstacle» (для ЛП «Положение слева» LHTTO, для ЛП «Положение справа» – RHTTO), препятствие далеко – OF от «obstacle far» (для ЛП «Положение слева» LOF, для ЛП «Положение справа» – ROF), нет препятствий – TANO «there are no obstacles» (для ЛП «Положение слева» LTANO, для ЛП «Положение справа» – RTANO)}. Для удобства универсальное множество выбрано [0, 100], измеряемое в процентах, которое должно уточниться в процессе проведения имитационного моделирования и проведения дальнейшей нормировки, пропорционально указанным в носителях термов значениям. На рисунке 1 представлены графические представления термов входных лингвистических переменных.

Выходная лингвистическая переменная «Направление» (Course) характеризуется базовым терм-множеством {полное лево – LLL, влево – LL, левее – L, прямо – F, правее – R, вправо – RR, полное право – RRR} (рисунок 2). Функции принадлежности термов выходной ЛП «Направление» представлены на рисунке 3.

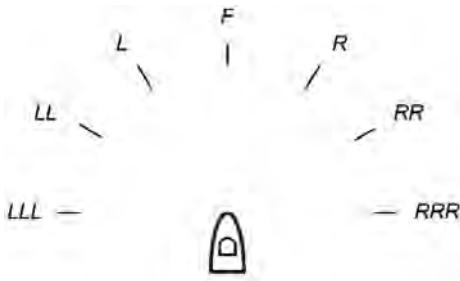


Рисунок 2 – Схематичное изображение термов выходной ЛП «Course»

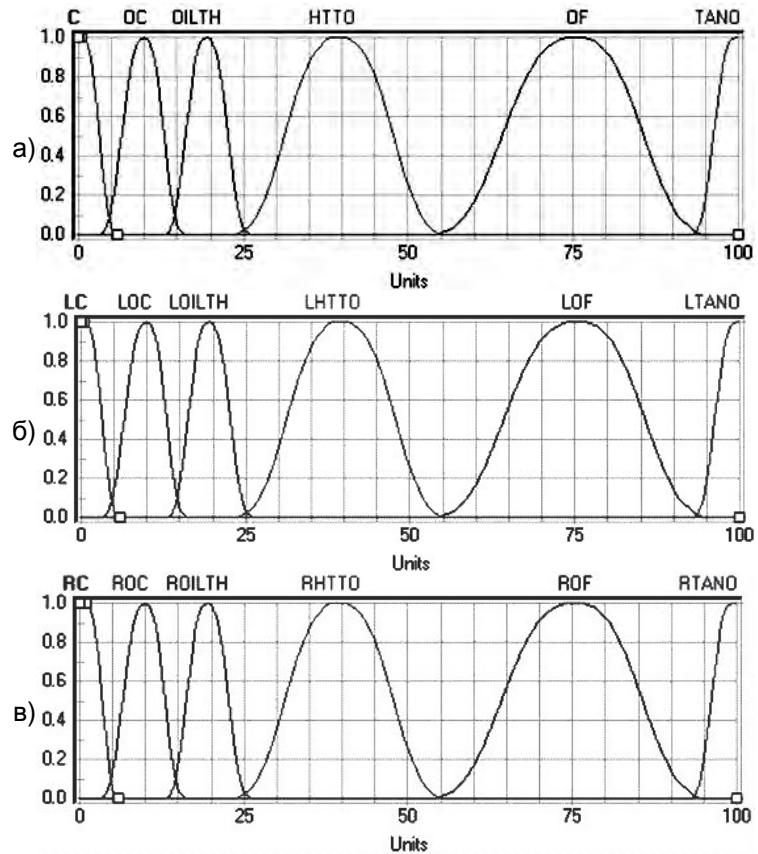


Рисунок 1 – Входные ЛП в среде FuzzyTECH: а)-Front; б)-Left; в)-Right

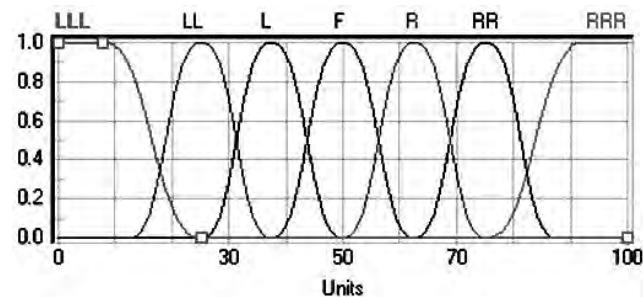


Рисунок 3 – Выходная ЛП «Course» в среде FuzzyTECH

База правил нечетких производных. Общая схема нечеткой производной модели расхождения судов со стационарными объектами показана на рисунке 4.

База правил нечетких производных нечеткой производной модели расхождения судов состоит из 216 правил, фрагмент которых показан на рисунке 5.

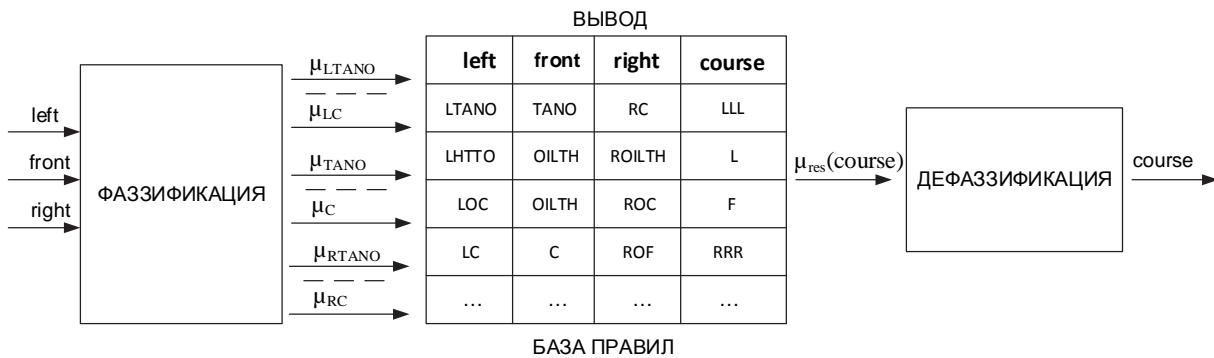


Рисунок 4 – Схема нечеткой производационной модели расхождения судов

Реализация нечеткой производационной модели расхождения судов осуществлялась с использованием программной среды FuzzyTECH [1], в качестве метода нечеткого логического вывода использовался алгоритм Мамдани [2].

Тестирование. Тестирование нечеткой производационной модели расхождения судов на различных ситуациях показало её адекватность тестовым ситуациям. Например, рассмотрим первую тестовую ситуацию – предположим, что движется судно, у которого на пути со всех трёх сторон (слева, спереди и справа) встречаются препятствия, при этом препятствие слева располагается на полпути к судну, препятствие спереди далеко от судна, а препятствие справа находится на дистанции меньшей, чем полпути (рисунок 6).

Анализ первой тестовой ситуации позволяет сделать вывод о том, что для предотвращения столкновений и для расхождения с тремя препятствиями нашему судну необходимо повернуть налево, внеся имеющуюся информацию в программную реализацию нечеткой производационной модели расхождения судов, получаем значение, соответствующее терму «левее».

Рассмотрим вторую тестовую ситуацию: пусть движется судно, перед которым слева и справа встречаются препятствия. Пусть оба препятствия располагаются близко к судну (рисунок 8).

Поскольку препятствия спереди нет, а справа и слева близко располагаются препятствия, то рекомендуется продолжать движение вперед, не изменяя направления до тех пор, пока препятствия не окажутся позади. Нечёткая производационная модель также выдает рекомендацию не менять направление движения судна (рисунок 9).

Заключение. Таким образом, предложена нечеткая производационная модель расхождения судна со стационарными объектами, введены входные и выходная лингвистические переменные, сформированы 25 термов трех базовых терм-множеств, заданы параметры функций принадлежности для каждого терма. Сформированы 216 правил нечетких продукции нечеткой производационной модели расхождения судна со стационарными объектами. Проведено тестирование разработанной модели, показавшее её адекватность тестовым примерам. Дальнейшие исследования будут направлены на получение численных диапазонов значений входящих в модель лингвистических переменных с учётом параметров судна. Такая модель станет основой для разработки автоматической системы расхождения морских судов.

#	IF	Left	Right	THEN
	Front	Left	Right	DoS Course
1	TANO	LTANO	RTANO	1.00 F
2	TANO	LTANO	ROF	1.00 F
3	TANO	LTANO	RHTTO	1.00 F
4	TANO	LTANO	ROILTH	1.00 L
5	TANO	LTANO	ROC	1.00 LL
6	TANO	LTANO	RC	1.00 LLL
7	OF	LTANO	RTANO	1.00 F
8	OF	LTANO	ROF	1.00 F
9	OF	LTANO	RHTTO	1.00 F
10	OF	LTANO	ROILTH	1.00 L
11	OF	LTANO	ROC	1.00 LL
12	OF	LTANO	RC	1.00 LLL
13	HTTO	LTANO	RTANO	1.00 F
14	HTTO	LTANO	ROF	1.00 F
15	HTTO	LTANO	RHTTO	1.00 F
:				⋮
213	C	LC	RHTTO	1.00 RRR
214	C	LC	ROILTH	1.00 RRR
215	C	LC	ROC	1.00 RRR
216	C	LC	RC	1.00 RRR

Рисунок 5 – База правил нечетких продукции

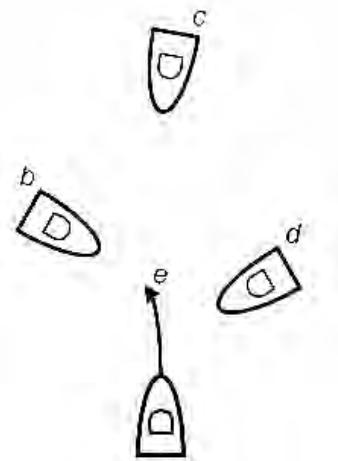


Рисунок 6 – Схематическое изображение первой тестовой ситуации

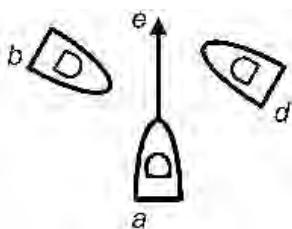


Рисунок 8 – Схематическое изображение второй тестовой ситуации

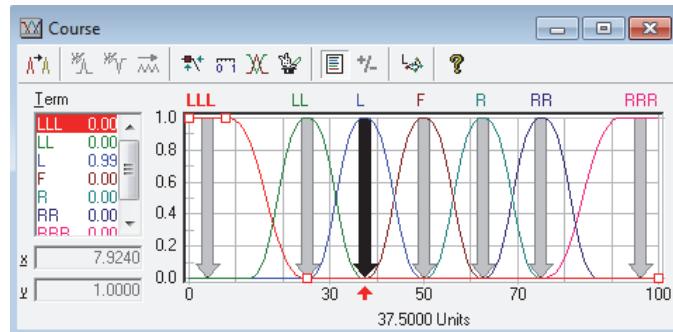


Рисунок 7 – Значение выходной ЛП «Course» для первой тестовой ситуации

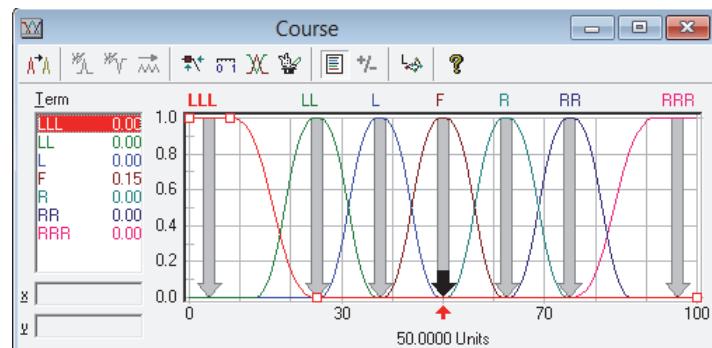


Рисунок 9 – Значение выходной ЛП «Course» для второй тестовой ситуации

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Седова, Н.А. Разработка интеллектуальных систем на базе нечеткой логики в FuzzyTech: метод. указания к лаб. работе / Н.А. Седова. -Владивосток: МГУ им. адм. Г.И. Невельского, 2012. -56 с.

2 Леоненков, А.В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и FuzzyTECH / А.В. Леоненков. -СПб.: БХВ, 2005. -736 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: расхождение судов, положение объекта, направление судна, лингвистическая переменная, нечеткое множество

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Седов Виктор Александрович, канд. физ.-мат. наук, доцент ФБОУ ВПО «МГУ им. адм. Г.И. Невельского»

Седова Нелли Алексеевна, канд. техн. наук, 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»

РАСЧЕТ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ В БАССЕЙНЕ ОБИ

ФГБОУ ВО «Государственный университет морского и речного флота им. адм. С.О. Макарова»

С.Ф. Шахнов

CALCULATION OF INTERFERENCE IMMUNITY RADIO CHANNEL DIFFERENTIAL SUBSYSTEM OF AUTOMATIC CONTROL SYSTEM OF SHIP TRAFFIC IN THE OB RIVER BASIN

Admiral Makarov state university of maritime and Inland shipping
S.F. Shakhnov

Is the calculation of the noise protection of the radio channels of the control and correction stations (CCS) on the Ob basin under the influence of industrial and mutual disturbances from adjacent CCS based on a study of the probability of the error of piece-by-piece method of the discrete messages.

Keywords: noise protection, probability of the error of piece-by-piece method, differential correction

Приводится расчет помехозащищенности радиоканалов контрольно-корректирующих станций (ККС) в бассейне Оби при воздействии индустриальных помех и взаимных помех от соседних ККС на основе исследования вероятности ошибки поэлементного приема дискретных сообщений.

Работа речных автоматизированных систем управления движением судов (АСУ ДС), являющихся составной частью разворачиваемых на внутренних водных путях (ВВП) России автоматизированных систем управления движением судов (АСУ ДС), сопряжена с использованием высокоточных спутниковых радионавигационных систем (СРНС) ГЛОНАСС/GPS. Однако в речных условиях их радионавигационное поле обязательно должно сопрягаться с полем дифференциальной поправки (ДП) [1].

С экономической точки зрения для создания поля ДП, обеспечивающего высокоточное радионавигационное поле на ВВП России, наиболее перспективным является использование локальных дифференциальных подсистем (ЛДПС) на базе цепочки контрольно-корректирующих станций (ККС), работающих в диапазоне частот морской радиомаячной службы (283,5-325 кГц) [2].

Достаточно большая дальность действия станций в этом диапазоне частот (200-400 км) позволяет минимизировать количество ККС, обеспечивающих сплошное покрытие полем ДП водных бассейнов, что особенно актуально в условиях крайней неразвитости инфраструктуры в средних и нижних течениях рек Сибири и Дальнего Востока.

Методика расчета помехозащищенности радиоканалов ЛДПС при воздействии взаимных помех от соседних ККС рассмотрена в работе [3]. Помехозащищенность может считаться обеспеченной, если выполняется условие

$$P_{\text{ош}} < P_{\text{ош, доп}},$$

где $P_{\text{ош}}$ – расчетная вероятность ошибки поэлементного приема цифрового сообщения;

$P_{\text{ош, доп}}$ – допустимая вероятность ошибки [4].

Для непосредственного расчета взят участок водного пути от г. Новосибирск до г. Кемерово длиной 568 км. Выбор именно этого участка обусловлен наличием двойного перекрытия зон действия ККС на участке водного пути от Томска до впадения Томи в Обь.

Для улучшения помехозащищенности радиолиний выполнен максимальный разнос несущих частот передатчиков соседних ККС в пределах выделенного частотного диапазона.

Расчетными точками являются: Новосибирская ГЭС, п. Краснообск, г. Новосибирск, д. Юрт-Ора, д. Камень, п. Вороново, п. Киреевск, д. Брагино, п. Моряковка, г. Томск, с. Иткара, г. Юрга, п. Колмогорово и г. Кемерово (рисунок 1).

Для передачи информации в радиоканале используются двоичные цифровые сигналы с фазовой манипуляцией несущей. Допустимая вероятность ошибки поэлементного приема для цифрового сигнала $P_{\text{ош, доп}}$ составляет 0,01. Спектральная плотность белого шума на входе приемника – 10^{-10} Вт·с. Длительность посылки сигнала T_c при скорости передачи 100 Бод составляет 10 мс. Мощности передатчиков всех ККС 400 Вт, чувствительность судового приемника 10^{-10} Вт.

В качестве источника корректирующей информации принимаем ККС Новосибирск. Источниками взаимных помех выступают ККС Кривошеино и ККС Салтымаково. Расстройка

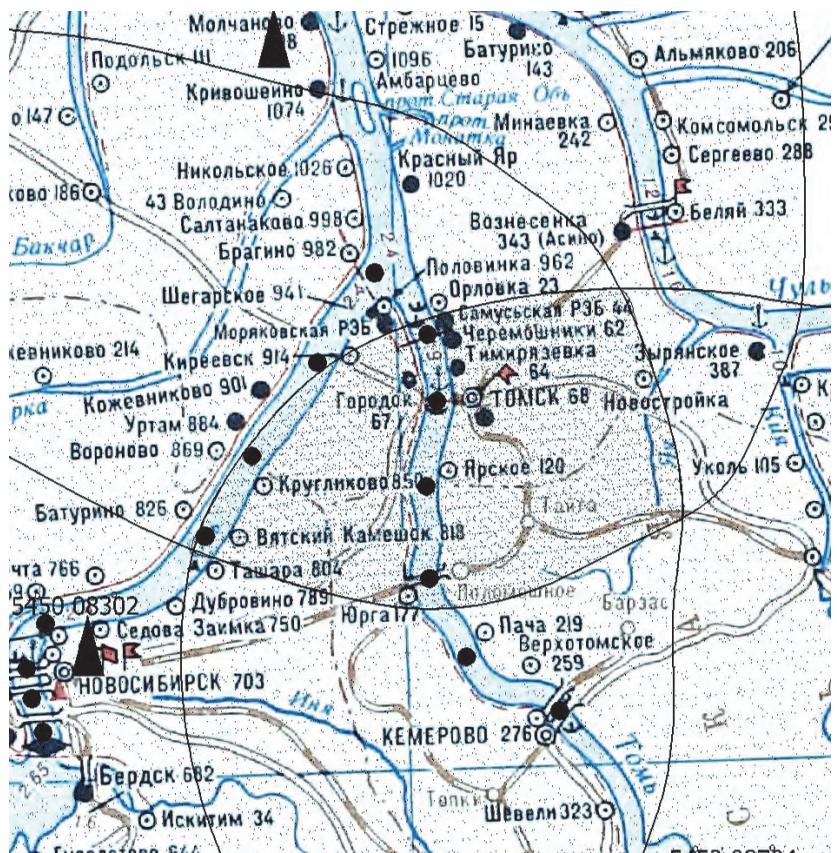


Рисунок 1 – Области перекрытий зон действия ККС

СУДОВОЖДЕНИЕ

частоты несущих между ККС Новосибирск и Кривошеино с учетом нестабильности генераторов составляет 14050 Гц. Между ККС Новосибирск и Салтымаково – 9050 Гц.

Результаты расчета приведены на рисунке 2.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

– помехозащищенность радиоканалов при работе от ККС Новосибирск обеспечена на всем расчетном участке пути, за исключением небольшого отрезка в районе Моряковки;

– провал помехозащищенности в районе Моряковки объясняется прохождением радиотрассы Новосибирск-Моряковка преимущественно через лесной массив, что значительно снижает функцию ослабления сигнала;

– обеспечение требуемой ошибки поэлементного приема на участке пути по Оби от Киреевска до Брагино и на всем протяжении Томи до Кемерово, где наблюдается превышение мощности взаимных помех уровня полезного сигнала, объясняется значительной расстройкой несущих частот сигнала и взаимных помех;

– однако, исходя из возможной деградации ДП, рекомендуется при движении из Новосибирска после Киреевска переходить на прием ДП от ККС Кривошеино, а в Томи, переключаться на ККС Сумароково после Иткары.

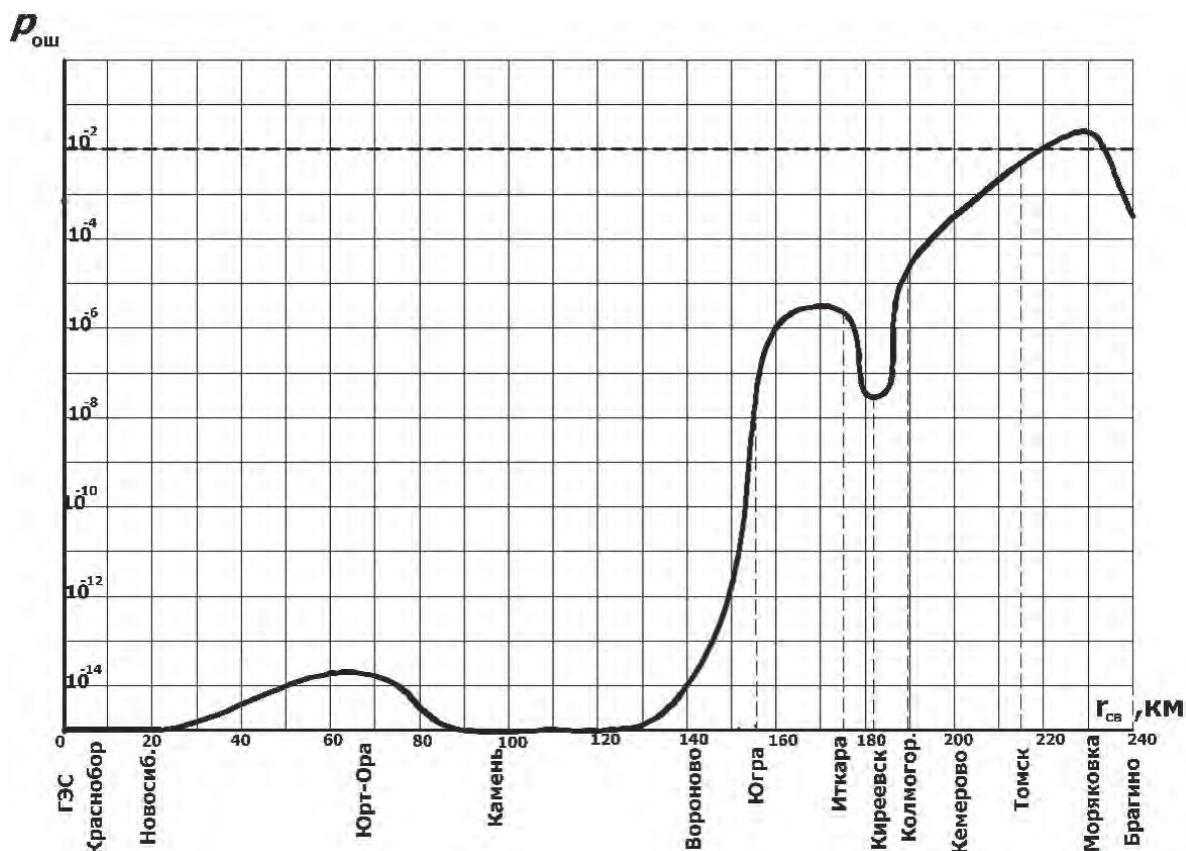


Рисунок 2 – Вероятность ошибки поэлементного приема на расчетном участке

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Сикарев, И.А. Помехоустойчивость и функциональная устойчивость автоматизированных идентификационных систем мониторинга и управления на речном транспорте / И.А. Сикарев. -СПб.: Изд-во политехн. ун-та, 2010. -142 с.

2 Каретников, В.В. Расчет помехозащищенности радиоканалов речной локальной дифференциальной подсистемы автоматизированных систем управления движением судов (на примере ФБУ «Администрация Волжского бассейна») / В.В. Каретников, И.А. Сикарев, С.Ф. Шахнов / Реч. трансп. (XXI век). -2014. -№ 6. -С. 54-57.

3 Шахнов, С.Ф. К расчету помехозащищенности радиоканалов речной ЛДПС при использовании детерминированных сигналов и взаимных помех / С.Ф. Шахнов / Вестн. гос. ун-та мор. и реч. трансп. им. адм. С.О. Макарова. -СПб., 2014. -Вып. 6 (28). -С. 24-28.

4 Сикарев , А.А. Оптимальный прием дискретных сообщений / А.А. Сикарев, А.И. Фалько. -М.: Связь, 1978. -328 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: помехозащищенность, вероятность ошибки поэлементного приема, дифференциальная поправка

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Шахнов Сергей Федорович, канд. техн. наук, доцент ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 198035, г.Санкт-Петербург, ул.Двинская, 5/7, ФБОУ ВПО «ГУМРФ им. адм. С.О. Макарова»

СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ ВОДЫ СУДОВ С ГОФТРОВКОЙ НАРУЖНОЙ ОБШИВКИ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Бимбереков

COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON WATER RESISTANCE OF SHIPS WITH CORRUGATION OF OUTER COVERING

Novosibirsk state academy of water transport
P.A. Bimberekov

It was made analysis and comparison of experimental data of different authors on water resistance of ships with corrugation of outer covering, it was given satisfactory correspondence of different authors' results taking into account developed method of recalculation.

Keywords: corrugation of outer covering, water resistance

Произведен анализ и сопоставление экспериментальных данных разных авторов по сопротивлению воды судов с гофтровкой наружной обшивки.

Исследованию влияния на увеличение сопротивления воды у судов с гофрировкой наружной обшивки, имеющей трахоидальный профиль посвящено незначительное число работ, в частности [1-5].

В [1] рассмотрен эксперимент в аэродинамической трубе ряда гофров, получена зависимость коэффициента счала гофров. В [2, 3] приведены результаты эксперимента натурного судна на мерной мили с гладким корпусом и с искусственной гофрировкой, получаемой приваркой на каждом шпангоуте в подводной части носовой оконечности до миделя судна полос, толщиной 2 мм, с получением средней стрелки прогиба гофрировки 49 мм. Скорость движения поддерживалась в обоих случаях 3,5 м/с и сопровождалось увеличением сопротивления судна с гофрировкой наружной обшивки примерно в 2 раза. Отметим сразу, что результирующих зависимостях удельное увеличение сопротивления вследствие наличия гофрировки дано ниже, чем определено в натурном эксперименте примерно в 1,23 раза, что обусловлено учётом дополнительных видов сопротивлений (выступающих частей, аэродинамического сопротивления и т.д.), присутствующих как у судна без гофрировки наружной обшивки, так и при её наличии.

В [4] представлены результаты экспериментальных исследований в опытном бассейне малых моделей с парафиновой облицовкой, в которой высекались гофры типа судовых. Для получения результата на малой модели использовался выносной турбулизатор [6, 7]. В [5] исследовались закономерности обтекания ряда гофров с углами атаки к набегающему потоку.

В силу малого числа работ по данному вопросу представилось целесообразным сопоставить полученные результаты разных авторов с целью проверки достоверности полученных результатов.

Исследования [4] проводились на моделях в масштабе 1:35 барж проекта №20691, с характерными размерениями для несамоходных судов близкой грузоподъёмности.

Главные размерения судна:

– длина наибольшая.....	76,5 м;
– ширина.....	10,96 м;
– высота борта	3,20 м;
– осадка	2,70 м;
– грузоподъемность.....	1717 т;
– шпация.....	600 мм.

Поскольку высота у борта моделей была существенно больше, чем у моделируемого судна, появилась возможность увеличить их осадку до 0,100 м, что при пересчете на натурное судно составило 3,50 м.

В масштабе указанного судна эти имитационные дефекты (гофры) представляли собой регулярные вмятины длиной по две шпации и стрелкой прогиба равной двум предельным для гофрировки. Если исследуемую модель отнести к судну с размерениями вдвое меньшими, чем у указанного выше, но с тем же размером шпации, то имитационные дефекты представляли собой гофрировку с предельной стрелкой прогиба. Предельная скорость испытыва-

ния величиной 0,9 м/с, определялась исходя из последнего случая моделирования, которая для натурного судна принята величиной 3,76 м/с (13,55 км/ч).

Был использован пыжевой счал двух моделей, имеющих в обоих оконечностях носовые обводы. Гофры наносились последовательными участками с одной оконечности барж на внешних бортах счала. Для исследования влияния гофров в корме счал разворачивался на 18°. Для выявления влияния дефектов между баржами были осуществлены прогонки пыжевого счала с зазором между бортами, дефектные борта располагались как с внутренних, так и с внешних бортов счала.

Полная программа испытаний приведена в таблице 1, а результаты на рисунке 1.

Анализируя результаты модельных испытаний сделаны следующие заключения:

- Увеличение протяженности гофрировки бортов при количестве гофров 6 и более у корпуса моделей с гладкой обшивкой не влияет на значение сопротивления воды. То есть параметры эксперимента не позволяют установить уже достаточно слабое влияние увеличения протяженности гофрировки.

- Прибавка к сопротивлению воды движению моделей гофрировки протяженностью 6 и более гофров не фиксируется в зависимости от местоположения начала гофрировки за исключением расположения в кормовой оконечности оговариваемой особо.

- Наличие гофров в кормовой оконечности на протяжении примерно 0,25 длины (L) корпуса судна не выявляет изменение сопротивления воды по сравнению с бездефектной моделью.

- Наличие гофрировки на внутренних бортах пыжевого счала моделей с зазором до 50 мм между ними не влияет на сопротивление воды его движению.

Анализируя результаты модельных испытаний можно сделать следующие заключения, относящиеся к натурным судам с санными обводами:

- При наличии гофрировки в носовой оконечности на бортах судов с гидравлически гладкой обшивкой, увеличение ее протяженности не приводит к существенному увеличению дополнительного сопротивления воды движению.

- Заметное влияние на сопротивление воды движению судна оказывает гофрировка начинающаяся не только в носовой, но и в центральной части корпуса судна.

- Наличие гофрировки на внутренних бортах пыжевого счала в условиях эксплуатационных зазоров между баржами не влияет (или незначительно влияет) на сопротивление воды его движению.

Произведем пересчет на натуру полученных данных сопротивления моделей с регуляр-

Таблица 1 – Программа и результаты испытаний

Исследуемый объект	Номер на рисунке 1
1 I	1
2 I+I	2
3 T-I+I	3
4 T-H-I+I, Г6, нар	4
5 T-K-I+I, Г6, нар	3
6 T-H-I+I, Г12, нар	4
7 T-K-I+I, Г12, нар	3
8 T-H-I+I, Г27, нар	4
9 T-K-I+I, Г27, нар	4
10 T-H-I+I, Г40, нар	4
11 T-K-I+I, Г40, нар	4
12 T-K-I+I, Г40, нар, 3 16	4
13 T-K-I+I, Г40, нар, 3 50	4
14 T-K-I+I, Г40, нар, 3 100	4
15 T-H-I+I, Г40, вн	3
16 T-K-I+I, Г40, вн	3
17 T-H-I+I, Г40, вн, 3 16	3
18 T-H-I+I, Г40, вн, 3 50	3
19 T-H-I+I, Г40, вн, 3 100	4
20 T-K-I+I, Г40, вн, 3 100	4
21 T	5

Обозначения: I-одна баржа; I+I-пыжевой счал двух барж; T-турбулизатор; H-гофрированный нос; K-негофрированный нос; Г12-наличие и число гофров (в данном случае 12); «вн» и «нар»-положение гофров у внутренних и наружных бортов соответственно; 3 16-наличие и размер зазора между моделями (в данном варианте 16 мм)

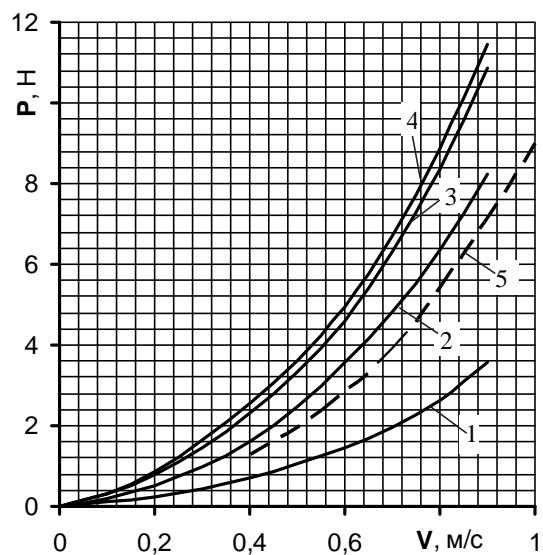


Рисунок 1 – Кривые сопротивления воды движению моделей P в зависимости от скорости их буксировки V

ными дефектами и сопоставим с известными зависимостями И.М. Гуревича, построенными на основе полученных им экспериментальных данных [2, 3].

Графические зависимости относительного прироста сопротивления судна из-за наличия гофрировки, $\Delta R_r/R$, по [2] с удовлетворительной для практических целей точностью аппроксимируем выражением

$$\Delta R_r/R = (180\bar{\Omega}_r^3 - 260\bar{\Omega}_r^2 + 15\bar{\Omega}_r)f_r^2/b^2 + (-13\bar{\Omega}_r^2 + 29\bar{\Omega}_r - 0,1)f_r/b, \quad (1)$$

где $\bar{\Omega}_r$ – относительное значение площади смоченной поверхности корпуса;

f_r, b – среднее значение стрелок прогиба гофров и шпации.

С целью возможности сопоставления результатов эксперимента в опытном бассейне с зависимостями И.М. Гуревича рассмотрим условия проведения им натурного эксперимента [2, 3]. Искусственная гофрировка получалась приваркой полос по длине шпангоута. У реальных судов гофры идут не по всей длине шпангоута, а между продольными рамными связями. При этом в зоне обшивки у продольных связей корпуса стрелка гофрировки существенно снижается и там можно предполагать наличие зон безотрывного обтекания. Следовательно, часть площади поверхности обшивки при пользовании графическими зависимостями И.М. Гуревича следует исключить из доли занятой гофрировкой. Возьмём оценочное значение зоны, где нужно исключить из расчёта отрыв потока в гофрированных шпациях, примерно равной присоединенному пояску в 0,5 холостой шпации (то есть в 0,5 шага гофров).

Кроме того, поскольку в основу построения графических зависимостей легли данные о гофрировке судна в носовой части судна до миделя, а на основании проведённого в опытном бассейне модельного эксперимента можно утверждать, что продолжение гофрировки в корму за мидель существенно меньше влияет на увеличение сопротивления судна, чем её расположение в носовой оконечности, то следует получить для корректной оценки по зависимостям И.М. Гуревича приведённое значение площади обшивки с гофрированной поверхностью. Такое приведение значений должно исходить из соотнесения влияния на сопротивление воды наличия гофрировки в кормовой части за миделем (при наличии гофрировки до миделя) к аналогичному влиянию в носовой части корпуса судна (обозначим его коэффициентом k_{PP^\oplus}).

Для корректировки результата, полученного по зависимостям И.М. Гуревича, возьмём во внимание свидетельство профессора В.Б. Чистова, о том, что базовый для построения графика натурный эксперимент проводился на буксире длиной около 30 м. Взяв в расчёт рекомендуемое Российским Речным Регистром (PPP) значение шпации 550 м получим ориентировочное количество шпаций 55, и, следовательно, ориентировочное количество шпангоутов на этом судне – 54 шт. Искусственная гофрировка была выполнена до миделя [3], то есть примерно на 27 шпангоутах. По длине борта испытанной в бассейне модели уложилось такое же количество гофрированных шпаций.

Для коэффициента k_{PP^\oplus} в случае испытанной в опытном бассейне модели имеем

$$1 = \frac{k_{PP^\oplus} \Omega_{r40}}{\Omega_{r27}} = \frac{k_{PP^\oplus} R_{r40}}{R_{r27}} \rightarrow \{\Omega_{r40} L_{r40}; \Omega_{r27} L_{r27}\} \rightarrow 1 \approx \frac{k_{PP^\oplus} L_{r40}}{L_{r27}} = \frac{0,75C_{r40} + 0,25C_{p0,75L}}{0,5(C_{r27} + C_{p^\oplus})} \frac{\Omega_{Fr40}}{\Omega_{Fr27}} \frac{\rho U_\infty^2 / 2}{\rho U_\infty^2 / 2}, \quad (2)$$

где $\Omega_{r27}, \Omega_{r40}$ – площадь гофрированной обшивки при 27 и 40 гофрах;

L_{r27}, L_{r40} – длина зоны гофрировки при 27 и 40 гофрах;

R_{r27}, R_{r40} – полное сопротивление модели при 27 и 40 гофрах;

C_{r27}, C_{r40} – коэффициенты сопротивления 27 (гофрировка до миделя) и 40 последовательно расположенных гофров;

$C_{p0,75L}$ – коэффициент сопротивления трения части обшивки без гофров после 0,75 длины модели судна;

C_{p^\oplus} – коэффициент сопротивления трения негофрированной обшивки после миделя судна;

$\Omega_{Fr27}, \Omega_{Fr40}$ – смоченная поверхность модели при 27 и 40 гофрах.

Выразив k_{PP^\oplus} и полагая $\Omega_{Fr27} \approx \Omega_{Fr40}$, учитывая $L_{r27} = L_{p^\oplus}$, получим

$$k_{PP^\oplus} = \frac{0,75C_{r40} + 0,25C_{p0,75L}}{0,5(C_{r27} + C_{p^\oplus})} \frac{L_{p^\oplus}}{L_{r40}}. \quad (3)$$

Для коэффициента сопротивления ряда гофров, C_{rn} , можем записать выражение [8]

СУДОВОЖДЕНИЕ

$$C_{\Gamma n} = 0,5 \left(\xi_0^{\Gamma} K_{\Gamma} + \xi_{\omega} \right); \quad (4)$$

$$\xi_0^{\Gamma} = 8,42 \left(f_{\Gamma} / a \right)^{2,06}; \quad (5)$$

$$K_{\Gamma} = \pi^{-[0,192 \ln(f_{\Gamma}/a) + 0,872]}; \quad (6)$$

$$\xi_{\omega} = 0,034 \left(\bar{k}_{ck} / L \right)^{0,2}, \quad (7)$$

где ξ_0^{Γ} , K_{Γ} , ξ_{ω} , \bar{k}_{ck} – коэффициенты отрывного обтекания гофра, счала n последовательно расположенных гофров, сопротивления шероховатой пластины, средняя квадратическая высота шероховатости поверхности.

Для случая гидравлически гладкой поверхности модели в качестве коэффициента сопротивления трения на участках без отрыва потока используем экстраполятор трения Г. Шлихтинга

$$\xi_{\omega} \sim \xi_T = 0,455 (\lg Re)^{-2,58}, \quad (8)$$

где Re – число Рейнольдса по длине судна (длина модели $L \approx 2,2$ м)

$$Re = U_{\infty} L / \nu;$$

U_{∞} – скорость судна (возьмём в расчёт скорость модели $U_{\infty} = 0,8$ м/с);

ν – коэффициент кинематической вязкости (возьмём в расчёт его значение при температуре 4 °C, то есть $\nu = 1,57 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Тогда коэффициент сопротивления трения участка обшивки модели без гофрировки получим по выражению

$$C_{\pi_{KL}} = \xi_{TL} - k \xi_{TKL} = 0,455 (\lg Re_L)^{-2,58} - k 0,455 (\lg Re_{KL})^{-2,58}, \quad (9)$$

где k – доля участка судна по длине, без которого определяется коэффициент трения.

Аналогично коэффициент сопротивления трения участка шероховатой обшивки судна без гофрировки, $C_{\pi_{KL}}$, получим по выражению

$$C_{\pi_{KL}} = \xi_{TL} - k \xi_{TKL} = 0,034 \left(\bar{k}_{ck} / L \right)^{0,2} - k 0,034 \left(\bar{k}_{ck} / k L \right)^{0,2}. \quad (10)$$

Оценка удельной площади занимаемою гофрировкой у модели дала значение $\bar{\Omega}_{\Gamma} \approx 0,330$, с учётом установленного отсутствия влияния гофрировки на 25% по длине от кормы судна имеем в оценочное значение $\bar{\Omega}_{\Gamma} = 0,272$. Учитывая наличие у модели скобы 0,015 м (в виде фаски) и присоединённый поясок 0,25a = 0,01 м (в зоне наклона носового бортика длиной 0,22 м принятая добавка присоединённого пояска 0,005 м по каждому борту, вследствие изменения зоны отрыва потока), получим откорректированную площадь гофрированной смоченной поверхности, где имеет место отрывное обтекание

$$\bar{\Omega}_{\Gamma} = \frac{0,272(T - R_{ck} - 0,25a - 0,005 \cdot 2 \cdot 0,220 / L_{\infty})}{T}, \quad (11)$$

$$\bar{\Omega}_{\Gamma} = \frac{0,272(0,100 - 0,015 - 0,010 - 0,005 \cdot 2 \cdot 0,220 / 1,100)}{0,100} = 0,151.$$

Расчёт коэффициента $k_{pp\oplus}$ по выражению (3) для модели, а также определение величины относительного сопротивления вследствие гофрировки у модели по выражению (1) сведём в таблицу 2.

Таблица 2 – Расчёт коэффициента $k_{pp\oplus}$ для варианта 40 и 27 гофров и предварительного значения

$\Delta R/R$ ($L_{\infty}/L_{\Gamma 40} = 2/3$; $k_{pp\oplus} = 0,763$; $\bar{\Omega}_{\Gamma} = 0,208$; $k_{pp\oplus}\bar{\Omega}_{\Gamma} = 0,151$; $\Delta R/R = 32,3\%$)

№	f_{Γ}/a	ξ_0^{Γ}	n	k	kL	Re_{KL}	ξ_{TKL}	K_{Γ}	$C_{\Gamma n}$	Re_L	$C_{\pi_{KL}}$
1	0,1	0,073	40	0,75	1,65	$0,841 \cdot 10^6$	0,00462	0,207	0,0098	$1,12 \cdot 10^6$	0,000913
2	0,1	0,073	27	0,5	1,1	$0,560 \cdot 10^6$	0,00499	0,242	0,0114	$1,12 \cdot 10^6$	0,001880

На основании [4] гофрировка в зоне $0,25L$ в корме не учитывается. Кроме прочего для корректировки графических зависимостей И.М. Гуревича следует учесть наличие уступов накладных листов имитирующих гофры. Учитываться должна только часть уступов в конце шпации по ходу судна, так как непосредственно за шпангоутом имеет место зона отрыва пограничного слоя и находящийся в ней уступ не вносит изменений в сопротивление воды.

Общий коэффициент сопротивления экспериментального судна в опыте И.М. Гуревича,

$C_{УГБ}$, можно представить зависимостью

$$C_{УГБ} = k_{\Omega}(C_{Г27} + \Delta\xi_{шв}) + (1 - k_{\Omega})C_{n\oplus}; \\ k_{\Omega} = \Omega_{шв}/\Omega,$$

где k_{Ω} – коэффициент доли площади смоченной поверхности, занятой швами-уступами (тоже что гофрами) в носовой части корпуса от всей смоченной поверхности корпуса судна (в случае эксперимента $k_{\Omega} \approx \Omega_{Г} \approx 0,5$);
 $\Omega_{Г}$ – удельная площадь смоченной поверхности корпуса с гофрировкой обшивки);
 $\Delta\xi_{шв}$ – добавка к коэффициенту сопротивления воды из-за наличия уступов накладных полос.

Тогда для коэффициента сопротивления буксира с гофрировкой до миделя без уступов $C_{ГБ}$, получим формулу

$$C_{ГБ} = C_{УГБ} - k_{\Omega}\Delta\xi_{шв}.$$

Возьмём для оценки влияния уступов накладных полос на сопротивление воды выражение для стыковых сварных швов [9], которые, впрочем, на некоторой протяжённости уступа действительно обязаны были иметь место, тогда для приращения коэффициента сопротивления $\Delta\xi_{шв}$ имеем выражение

$$\Delta\xi_{шв} = 1,85 \frac{h_{шв}^{2,18} \ell_{шв} L_{\Sigma шв}^{0,85}}{\Omega_{шв} b_{шв} \Delta L_{шв}} \left(\frac{U_{\infty}}{\nu} \right)^{0,03},$$

где $h_{шв}$, $b_{шв}$, $\ell_{шв}$ – соответственно высота шва (в рассматриваемом случае, в силу невозможности обеспечения чёткого прилегания из-за множественных местных неровностей кромки накладной полосы к поверхности обшивки корпуса с большим сроком эксплуатации, принимаем $h_{шв} \approx 2,5$ мм), ширина шва (принимаем $b_{шв} \approx 3,0$ мм), средняя длина шва (принимаем $\ell_{шв} \approx 9$ м);

$L_{\Sigma шв}$ – длина зоны с регулярными швами;
 $\Omega_{шв}$ – площадь смоченной поверхности с регулярными швами;
 $\Delta L_{шв}$ – расстояние между соседними швами (в нашем случае равно шпации, то есть 0,55 м);
 U_{∞} – скорость судна ($U_{\infty} = 3,5$ м/с);
 ν – коэффициент кинематической вязкости (возьмём в расчёт его значение при температуре 14 °C, то есть $\nu = 1,16 \cdot 10^{-6}$ м²/с).

Данные расчёта сопротивления сварных швов-уступов в эксперименте И.М. Гуревича приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Расчёт коэффициента сопротивления швов-уступов

$h_{шв}$, мм	$b_{шв}$, мм	$\ell_{шв}$, м	$L_{шв}$, м	m	$\Delta L_{шв} = L_{шв}/m$, м	T , м	$\Omega_{шв}$, м ²	U_{∞} , м/с	ν , м ² /с	$\Delta\xi_{шв}$
2,5	3,0	9,0	15,0	27	0,55	1,5	~119	3,5	$1,16 \cdot 10^{-6}$	0,00282

Обозначения: $L_{шв}$ – длина части судна с накладными полосами; m – число швов-уступов накладных полос; T – осадка судна (принята оценочно)

Поскольку значения величины шероховатости поверхности корпуса буксира без гофрировки в натурном эксперименте И.М. Гуревича неизвестно, то для оценки взято примерно среднее значение 0,00050 м из диапазона, приведённого в [2, 3] $k_{CK} \in [0,000178; 0,777]$. Будем учитывать влияние поверхности накладных полос как имеющих гидродинамически гладкую поверхность, тогда для оценки полного коэффициента сопротивления трения дадим зависимость

$$C = 0,5(C_{Г27} + C_{n\oplus}) = 0,5 \left[0,5 \left(\xi_0^Г K_{Г} + 0,6 \xi_{шL/2} + 0,4 \xi_{TЛ} \right) + \xi_{шL/2} \right],$$

где $\xi_{шL/2}$, $\xi_{шL}$ – коэффициенты сопротивления трения шероховатой обшивки половины и всего корпуса судна соответственно;

0,6; 0,4 – коэффициенты доли шероховатой и гидродинамически гладкой поверхности в пределах гофрированной шпации с искусственной гофрировкой (таким образом, учитываемая ширина поверхности полосы в каждой из гофрированных шпаций принята величиной 0,5-0,4· $a = 0,110$ м).

СУДОВОЖДЕНИЕ

Зависимости прироста сопротивления судна вследствие наличия гофрировки получены И.М. Гуревичем для искусственной гофрировки. Получим оценку площади обшивки в носовой оконечности, которая в условиях судна эксперимента И.М. Гуревича должна быть исключена из расчёта отрывного обтекания в случае не искусственной, а реальной гофрировки при предположении наличия на судне трёх кильсонов. Тогда имеем оценку величины этой площади $\Omega_{ш.пп}$

$$\Omega_{ш.пп} \approx 0,5a\pi_{п.с}L_r + b_{ck}L_r, \quad (16)$$

где a – шпация ($a = 0,55$ м);

$\pi_{п.с}$ – количество продольных связей, у которых учитываем наличие зон без отрыва потока (три кильсона, две скулы и два бортовых стрингера, то есть всего семь);

L_r – длина гофрированной зоны ($L_r \approx L_{\infty} = L/2 = 15$ м);

b_{ck} – ширина скулового пояса (приняв радиус скулы 0,3 м, получим $b_{ck} = 0,471$ м).

В итоге имеем расчётное значение $\Omega_{ш.пп} \approx 43 \text{ м}^2$, которое составит примерно 36,2% от площади смоченной поверхности обшивки занятой гофрировкой. Тогда площадь гофрировки, на которой имеет место отрывное обтекание с вершин гофров у реального судна составит: $0,5 \cdot 0,32,6 = 0,319$. Получим коэффициент приведения сопротивления судна с реальной от искусственной гофрировки, отнеся величину надбавки сопротивления по выражению (1) с относительными значениями площадей $\bar{\Omega}_r = 0,319$ и $\bar{\Omega}_r \approx 0,500$. Получаем коэффициент приведения равен 0,82.

Теперь можно сделать оценку влияния швов-уступов на сопротивление испытанного И.М. Гуревичем судна исходя из наличия 27 гофров, а также определить значение прироста сопротивления для испытанной нами модели. Расчёт произведём в таблице 4.

Таблица 4 – Определение влияния швов-уступов и корректировка $\Delta R/R$

\bar{k}_{ck} , мкм	f_r/a	ξ_0^r	n , шт	k	kL , м	Re_{kl}	ξ_{tkl}	$\xi_{tklш}$	K_r	$C_{rнш}$	$C_{пкш}$	C
500	0,1	0,073	27	0,5	15	$4,53 \cdot 10^7$	0,00238	0,00433	0,242	0,0107	0,00160	0,00613
C	$\Delta\xi_{шв}$ (таблица 3)	$\Delta\xi_{шв}/C$				$\Delta R/R, \%$ (таблица 2)			$\Delta R/R, \%$	$k_{pr,R}$	$\Delta R/R, \%$	
0,00613	0,00282	0,230				32,3			24,8*	0,82	20,4	

*-с учётом швов-уступов

Рассмотрим далее условия моделирования судна с гофрировкой наружной обшивки. В опытном бассейне моделирование ведется по подобию числа Фруда [10, 11]

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{g\ell}} = \text{Const}_1, \quad (17)$$

где V – скорость движения;

g – ускорение свободного падения;

ℓ – некоторый характерный линейный размер.

Возьмем в расчет случай прямолинейного движения, совмещенное с гармоническим колебанием

$$x = Vt - b\sin kt, \quad (18)$$

где t – время;

b – характерный поперечный размер гармонического колебания;

k – частота колебания.

Класс подобных движений в случае такого комбинированного движения характеризуется соблюдением постоянства числа Струхала, которое выражается равенством

$$St = \frac{bk}{V} = \text{Const}_2.$$

Рассмотрим условия моделирования по двум указанным критериям. Считая очевидным, что скорости моделирования по указанным критериям подобия совпадают, выразим их значения из приведенных выше уравнений и приравняем

$$V = \frac{bk}{\text{Const}_2} = \text{Const}_1 \sqrt{g\ell}. \quad (19)$$

Выразив из (1) параметр b и разделив его на характерный размер ℓ , получим равенство

СУДОВОЖДЕНИЕ

$$b/\ell = \text{Const}_1 \text{Const}_2 k^{-1} \sqrt{g/\ell}. \quad (20)$$

Введем в рассмотрение характерную длину колебания ℓ_1 , и времени ее прохождения потоком T_1 , и одновременно с этим учтем, что прохождение длины ℓ происходит за время T , тогда получим выражение для скорости движения

$$V = \ell_1/T_1; \quad V = \ell/T. \quad (21)$$

Исходя из (21) получаем значение частоты колебаний k длиной ℓ_1 за период T в следующем виде

$$k = \frac{\ell}{T\ell_1} = \frac{VT}{TVT_1} = \frac{1}{T_1}. \quad (22)$$

С учетом значения k по (22) равенство (20) примет вид

$$b/\ell = \text{Const}_1 \text{Const}_2 T_1 \sqrt{g/\ell}. \quad (23)$$

Положим, что масштаб моделирования имеет значение M и, добавляя к обозначениям индексы – «н» и «м» соответственно для натуры и модели преобразуем выражение (23)

$$(b/\ell)_H = \text{Const}_1 \text{Const}_2 T_{1H} \sqrt{g/\ell_H} = \text{Const}_1 \text{Const}_2 T_{1M} (T_{1H}/T_{1M}) \sqrt{g/(\ell_M M)}. \quad (24)$$

Получим отношение T_{1H}/T_{1M}

$$\frac{T_{1H}}{T_{1M}} = \frac{\ell_{1H} V_M}{V_H \ell_{1M}} = \frac{\ell_{1H} V_M}{\ell_{1M} V_H} = \frac{\ell_{1M} M}{\ell_{1M}} \frac{V_H}{V_H \sqrt{M}} = \frac{\ell_{1M} V_H}{\ell_{1M} V_H \sqrt{M}} = \sqrt{M}. \quad (25)$$

Используя (25) из (24), учитывая также (23), получим равенство

$$(b/\ell)_H = \text{Const}_1 \text{Const}_2 T_{1M} \sqrt{M} \sqrt{g/(\ell_M M)} = (b/\ell)_M. \quad (26)$$

На основании равенства (26) имеем, что при моделировании прямолинейных движений, в которых существует гармоническое колебание, должно быть соблюдено равенство отношений характерных поперечного размера колебания и размера потока (тела).

Для судовой поверхности, имеющей гофрировку обшивки (близка к трохоидальной форме) равенство (26) будет иметь вид

$$(f_r/a)_H = (f_r/a)_M, \quad (27)$$

где f_r , a - соответственно стрелка прогиба гофрировки и размер шпации.

Далее учтем, что шпация у речных судов должна принадлежать диапазону значений: $a \in [400; 600]$ мм.

Определим масштаб гофрировки у моделей в случае варьирования шпации в пределах установленных РРР. Так при шпации 400 мм масштаб моделирования будет иметь значение $M = 10$, а при шпации 650 мм – $M = 16,25$.

Для указанных значений масштаба гофрировки, с учетом того, что у модели $(f_r/a)_M = 0,1$ получим значения гофрировки натуры, которые сведем в таблицу 5. Там же для данного значения $\bar{\Omega}_r$ и значений относительной стрелки прогиба гофрировки натуры $(f_r/a)_H$ оценим погрешность прибавки сопротивления от гофрировки, $\Delta R/R$, полученного нами в модельном эксперименте с результатом обсчета на базе данных И.М. Гуревича (таблица 5).

Таблица 5 – Значения пересчета величины гофрировки и скорости движения на натурное судно

Параметр	Шпация натурного судна, мм	
	400	650
Масштаб модели гофрировки, M	10,00	16,25
Относительная стрелка гофрировки модели, $(f_r/a)_M$	0,1	
Относительная стрелка гофрировки натуры, $(f_r/a)_H$		0,1
Максимальная скорость модели, V_M , м/с	0,9	0,9
Максимальная скорость натуры V_H , м/с (км/ч)	2,85 (10,2)	3,63 (13,1)
Удельная прибавка сопротивления $\Delta R/R$, %, (см. таблицу 4)		20,4
Удельная прибавка сопротивления $\Delta R/R$, %, (при $V = 0,8$ м/с: $\Delta R = 0,55$ Н; $R = 2,65$ Н)		~20,7
Погрешность полученных результатов, %		1,7

Из таблицы 5 видно, что результаты, полученные на основе данных И.М. Гуревича

СУДОВОЖДЕНИЕ

удовлетворительно коррелируют с результатами нашего модельного эксперимента. Данный момент подтверждает как корректность всех проведённых экспериментов, так и предложенных методик их обсчёта.

Отдельно рассмотрим положение И.М. Гуревича [3] по оценке падения скорости. Им было взято за основу сохранение упора движителя при изменении сопротивления судна (в предположении малого изменения скорости). При этом оценка такого изменения дала 25% начальной скорости, что вероятно нельзя считать малым. В указанном натурном эксперименте определение сопротивления судна при прогонке гладкого корпуса и корпуса с искусственной гофрировкой [2] производилось при одной скорости, следовательно, требовало увеличение потребляемой мощности буксиром. Если бы упор судна сохранился бы постоянным, то судно при увеличении сопротивления должно было потерять скорость.

Произведём переоценку величины падения скорости судна исходя из зависимостей для потери скорости [12] при постоянном упоре и постоянной буксировочной мощности. Для этого получим значение коэффициента перевода для падения скорости от первого подхода ко второму

$$k = \frac{1 - C_{\xi}^{-1/2}}{1 - C_{\xi}^{-1/3}}.$$

При определённом в эксперименте И.М. Гуревича увеличении сопротивления примерно в два раза имеем $C_{\xi} \approx 2$, тогда $k = 1,42$. То есть падение скорости может быть определено величиной $25\%/1,42=17,6\%$. Действительное значение падения скорости судном будет зависеть от согласованности движителя при изменении сопротивления судна, и находится между указанными оценками.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гуревич, И.М. Влияние гофрированной обшивки корпуса на сопротивление воды движению судна / И.М. Гуревич / Технология судостроения и судоремонта: тр. ЛИВТа. -Л., 1971. -Вып. 126. -С. 5-20.
- 2 Гуревич, И.М. Научные основы организации ремонта корпусов судов и ее влияние на эффективность работы речного флота: автореф. дис. ... д-ра техн. наук / И.М. Гуревич. -Л., 1971. -53 с.
- 3 Гуревич, И.М. Технология судостроения и судоремонта: учеб. для вузов вод. трансп. / И.М. Гуревич, Ю.Г. Зеличенко, Ю.Г. Кулик. -М.: Транспорт, 1976. -416 с.
- 4 Бимбереков, П.А. К вопросу изучения влияния деформаций корпуса на ходовые качества судов / П.А. Бимбереков / Сочетствование гидромеханических качеств судов и составов: сб. науч. тр. / НИИВТ. -Новосибирск, 1993.
- 5 Бимбереков, П.А. Исследование обтекания судовой обшивки, имеющей гофрировку, потоком с разными углами атаки на моделях в дымовой трубе / П.А. Бимбереков / Мор. вестн. -2009. -№ 1. -С. 110-111.
- 6 Турбулизатор и способ турбулизации потока: пат. 2313774 Российская Федерация / П.А. Бимбереков. -Опубл. 2007, Бюл. № 34.
- 7 Бимбереков, П.А. Два технических решения для опытного бассейна / П.А. Бимбереков / К 20-летию со дня рождения Вильяма Фруда: сб. науч. тр. / НГАВТ. -Новосибирск, 2011. -С. 64-70.
- 8 Бимбереков, П.А. Совместное влияние на сопротивление воды движению судна местных остаточных деформаций и шероховатости обшивки / П.А. Бимбереков / Судовождение-2006: сб. науч. тр. / НГАВТ. -Новосибирск, 2011. -С. 172-179.
- 9 Михайлов, В.Н. Влияние шероховатости на сопротивление воды / В.Н. Михайлов, Г.Н. Ткачук. -Л.: Судостроение, 1971. -152 с.
- 10 Седов, Л.И. Методы подобия и размерности в механике / Л.И. Седов. -М.: Наука, 1987. -432 с.
- 11 Эпштейн, Л.А. Методы теории размерностей и подобия в задачах гидромеханики судов / Л.А. Эпштейн. -Л.: Судостроение, 1970. -207 с.
- 12 Бимбереков, П.А. Определение значений допускаемой высоты шероховатости судовой поверхности по длине судна / П.А. Бимбереков / Судовождение -2006: сб. науч. тр. / НГАВТ. -Новосибирск, 2011. -С. 151-171.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гофрировка наружной обшивки, сопротивление воды

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Бимбереков Павел Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА 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) ФГБОУ ВО
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, М.Г. Клековкина, О.А. Ясырова

EXPERIMENTAL RESEARCH EXPRESS METHODS FOR DETERMINING THE FLASH 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, M.G. Klekovkina, O.A. Yasyrova

In article presents the results of experimental research method for determining the flash point of petroleum products.

Keywords: oil products, flash temperature, express methods

Приведены результаты экспериментальных исследований экспресс-метода определения температуры вспышки нефтепродуктов.

Одним из наиболее важных показателей нефтепродуктов является температура вспышки, которая определяет теплофизические свойства нефтепродуктов и характеризует их способность к воспламенению при нагреве.

Ранее было показано [1], что стандартные приборы различных типов по своему конструктивному исполнению устарели, вследствие чего определение температуры вспышки осуществляется в течение длительного времени (до 1,5 ч). Кроме того, эти приборы не адаптированы по метрологическим характеристикам к требованиям технического регламента.

Таким образом, существующие приборы не дают возможности оперативного определения вспышки на местах применения и эксплуатации масел и топлива.

Решение этой задачи может быть связано с уменьшением объема испытуемого нефтепродукта, что позволяет уменьшить время определения температуры вспышки. Кроме того, уменьшение объемов топлива, смазочных и моторных масел при проведении экспресс-диагностики обеспечит существенную экономию нефтепродуктов [2, 3].

В этой связи были проведены экспериментальные исследования экспресс-метода определения температуры вспышки нефтепродуктов с помощью анализатора СИМ-5.

Для сокращения времени анализа и адаптации прибора по метрологическим характеристикам к требованиям технического регламента, анализатор подвергался модернизации (рисунок 1). Модернизация заключалась в изменении объема тигля анализатора, которое было достигнуто с помощью специально изготовленных горизонтальных и вертикальных вставок.

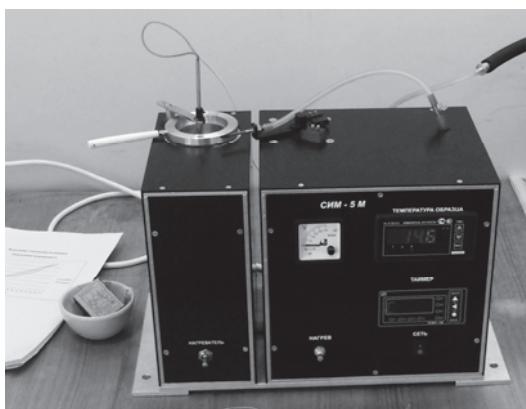


Рисунок 1 – Модернизированный анализатор температуры вспышки нефтепродуктов СИМ-5



Рисунок 2 – Горизонтальные и вертикальные вставки в тигель

Материалом для изготовления вставок (рисунок 2) послужил алюминий, так как он обладает повышенной теплопроводностью.

Объем тигля без вставок составляет 100 мл, схематическое изображение тигля с различными вариантами исполнения вставок и полученным объемом испытательного тигеля представлено на рисунке 3.

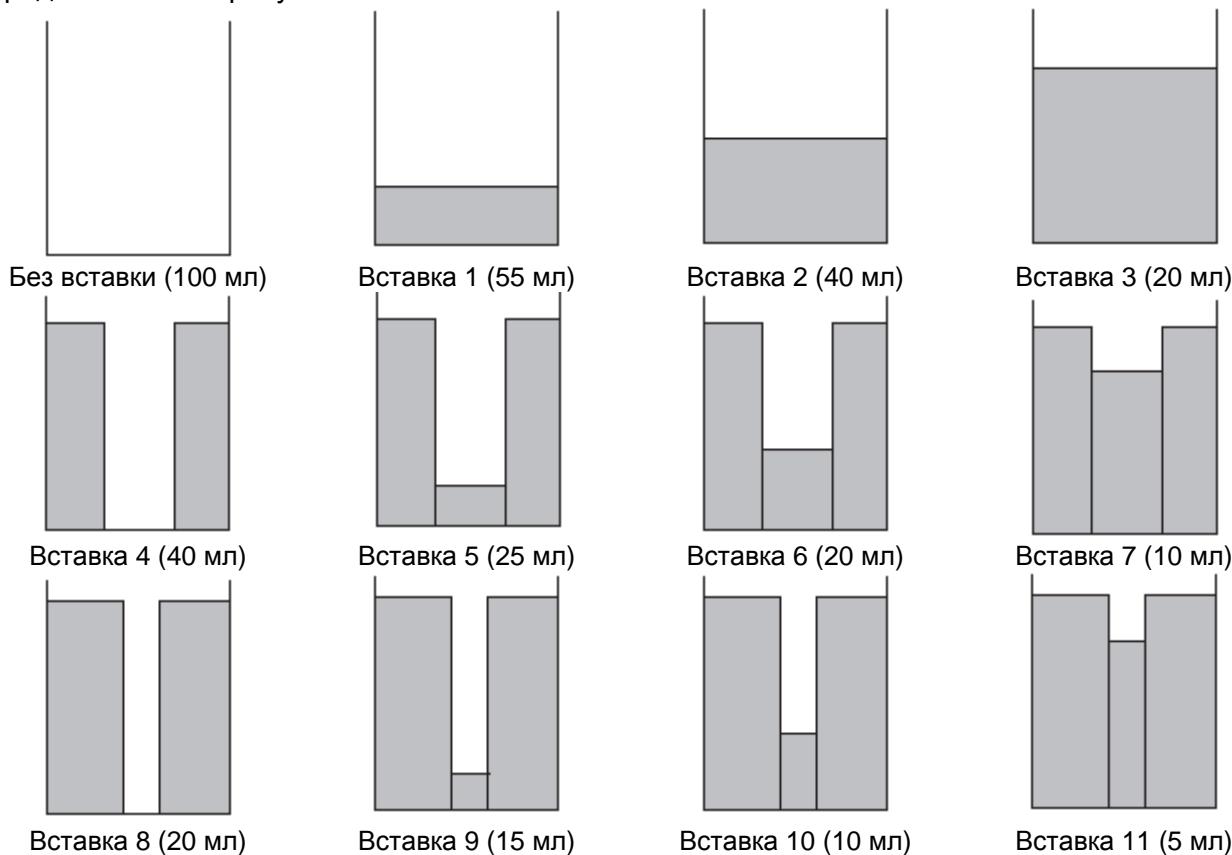


Рисунок 3 – Варианты исполнения вставок и объем испытательного тигеля

Измерение температуры вспышки с помощью анализатора СИМ-5 производилось согласно национальным стандартам ГОСТ 4333-87 и ГОСТ 6356-75 «Методы определения температуры вспышки».

При исследованиях проводилось по 3 измерения температуры вспышки трансформаторного масла.

На рисунке 4 приведена типичная зависимость температуры тигля при его нагреве и полученные при испытаниях значения температуры вспышки.

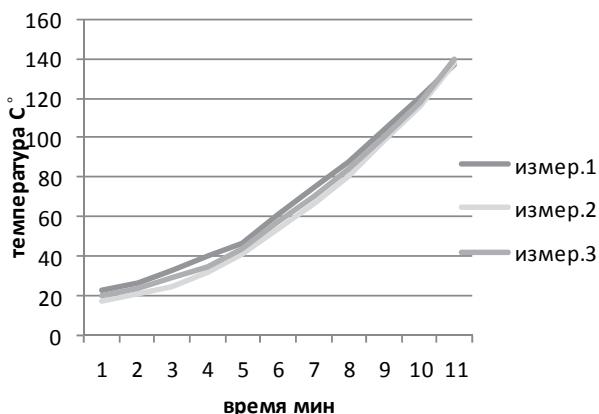


Рисунок 4 – Зависимость температуры от времени с вставкой 3 ($U = 60B$; $T_1 = 136,5^{\circ}\text{C}$; $T_2 = 137,9^{\circ}\text{C}$; $T_3 = 139,4^{\circ}\text{C}$; $T_{cp} = 137,9^{\circ}\text{C}$; $V = 15^{\circ}\text{C}/\text{мин}$)

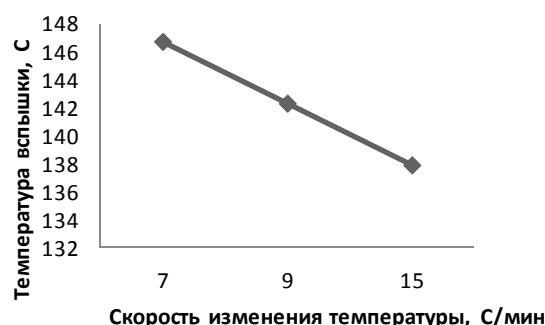


Рисунок 5 – Зависимость температуры вспышки от скорости нагрева нефтепродукта

Кроме того, по результатам измерений была получена зависимость температуры вспышки от скорости нагрева нефтепродукта, представленная на рисунке 5.

Из рисунка видно, что с увеличением скорости нагрева температура вспышки нефтепродукта уменьшается. Это связано с тем, что при большой скорости нагрева происходит интенсивное испарение вблизи нагреваемых стенок тигля, в то время как центральная часть нефтепродукта, где установлена измерительная термопара не успевает прогреться. Это приводит к заниженным значениям по температуре вспышки.

Таким образом, в результате проведенных исследований установлено, что уменьшение объема тигля мало влияет на значение температуры вспышки нефтепродукта. На значение температуры вспышки нефтепродукта оказывает влияние скорость изменения температуры нефтепродукта. Чем выше скорость изменения температуры нефтепродукта (скорость нагрева), тем меньше температура вспышки, в связи с чем при проведении испытаний необходимо контролировать скорость нагрева нефтепродукта.

Кроме того было установлено, что для создания метода экспресс-анализа наиболее оптимальной (с точки зрения времени проведения анализа) является вставка 3. При её использовании расход ГСМ уменьшился на 80%.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Экономия горючесмазочных материалов при работе двигателей внутреннего сгорания / Г.В. Шувалов [и др.] // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -Вып. VI. -С. 49-52.

2 Шувалов, Г.В. Анализатор температуры вспышки нефтепродуктов / Г.В. Шувалов, М.А. Мишагин, А.В. Бондарев // Энергетика, экология, энергосбережение, транспорт : тр. второй междунар. науч.-техн. конф., 8-11 сент. 2004 / 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 / Г.В. Шувалов [и др.] // Физика. -2004. -T.47, -№11. -С. 200-202.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, температура вспышки, экспресс-метод

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»

Клековкина Мария Геннадьевна, инженер ФГУП «СНИИМ»

Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»

630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

RESEARCH VIBRATIONAL PROCESSES IN ELECTROMAGNETIC HYDRAULIC VIBRATION-DAMPING SUPPORT. FREE VIBRATIONS

Novosibirsk state academy of water transport
P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The article deals with the theoretical investigation of free vibrations of processes arising in electromagnetic vibrosolarwise support (EGVO) under the action of electromagnets. The conclusion about the prospects of usage of the data supports for vibration control of ship power plants.

Keywords: vibration insulation of ship power installations

Проведено теоретическое исследование свободных колебательных процессов, возникающих в электромагнитной виброизолирующей опоре (ЭГВО) под действием электромагнитов. Сделан вывод о перспективности использования данных опор для виброизоляции судовых энергетических установок.

Проведем теоретическое исследование колебательных процессов, возникающих в электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоре (ЭГВО) под действием электромагнитов [1]. Примем ряд необходимых допущений. Якоря и сердечники электромагнитов будем считать абсолютно твердыми телами. Элемент колебательной системы, с которым

скреплен якорь, должен иметь возможность перемещаться относительно элемента, скрепленного с сердечником. Тогда пондеромоторные силы, притягивающие якорь к сердечнику и сердечник к якорю, вызовут колебания этих элементов и всей остальной колебательной системы. Предположим, что якорь может двигаться относительно сердечника лишь последовательно в направлении, перпендикулярном плоскости торцов, остальные относительные перемещения должны быть устранены, соответствующими связями. Указанным выше образом схематизируется множество электротехнических устройств [2].

Составим выражение для энергии магнитного поля ЭГВО. Предположим, что размеры сечения сердечника d (рисунок 1) велики по сравнению с расстоянием между якорем и сердечником, но малы по сравнению с длиной силовых линий. Это позволяет считать скалярный потенциал постоянным по сечению, а поле в промежутке между якорем и сердечником – однородным; поле же в ферромагнетике можно учитывать, введя магнитное сопротивление R_c сердечника и якоря.

Энергия поля в стали будет определяться согласно [3]

$$E_1 = \frac{1}{2} R_c \Phi^2, \quad (1)$$

где Φ – магнитный поток через сечение сердечника.

Индукция в зазоре определяется как

$$B_\delta = \frac{\Phi}{S_2}, \quad (2)$$

где S_2 – площадь сечения якоря

$$S_2 = \frac{1}{4} \pi d^2.$$

Энергия поля в зазорах

$$E_2 = \frac{1}{2} \iiint_V \frac{1}{\mu} B^2 dx dy dz, \quad (3)$$

где интеграл берется по всему пространству V , а μ – характеристика среды, в которой создано поле (она является функцией координат и называется магнитной проницаемостью), будет пропорционально объему зазоров.

Окончательно для всей энергии поля получаем выражение

$$E = \frac{1}{2} \left[\frac{2(h_1 + \delta)}{\mu_0 S} + R_c \right] \Phi^2, \quad (4)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость среды;

h_1 – расстояние между сердечником и якорем при недеформированной колебательной системе;

δ – изменение этого расстояния при колебаниях, отсчитываемое в сторону увеличения зазора.

Магнитное сопротивление R_c можно вычислить по формуле Гопкинсона (закон Ома для замкнутой магнитной цепи) [3]

$$R_c = \frac{\ell}{\mu \mu_0 S}, \quad (5)$$

где ℓ – длина участка цепи;

μ – относительная магнитная проницаемость данного участка цепи;

μ_0 – магнитная постоянная.

С учетом конструктивных параметров ЭГВО [1] и формул (2), (5) имеем $\Phi = B_\delta \cdot S$, то есть $\Phi \approx 1,8 \cdot 10^{-2}$ Вб, $R_c \approx 1,30 \cdot 10^3$ Гн⁻¹.

Подставив найденные значения R_c и Φ в (4) можно построить график прямой пропорциональной зависимости энергии электромагнитного поля, создаваемого электромагнитной колебательной системе в ЭГВО от изменения расстояния при колебаниях δ (рисунок 2).

Поток Φ_1 через контур тока i_1 равен $w_1 \Phi$, где w_1 -число витков [4]. Отсюда соотношение, связывающее поток с током будет иметь вид

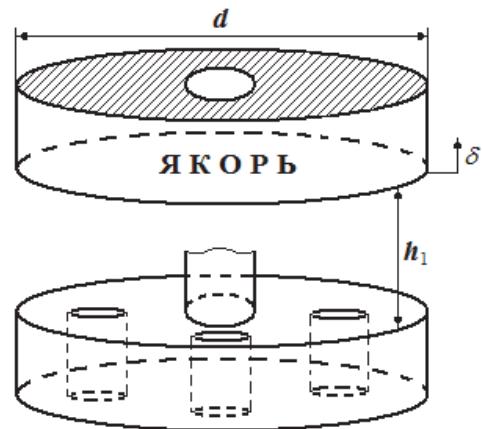


Рисунок 1 – Электромагнитная колебательная система в ЭГВО

$$i_1 = \frac{\partial E(\Phi_1, \delta)}{\partial \Phi_1} = \frac{1}{w_1^2} \left[\frac{2(h_1 + \delta)}{\mu_0 S} + R_C \right] \Phi_1. \quad (6)$$

Механический кинетический потенциал будет иметь вид [4]

$$L = T - \Pi = \frac{1}{2} m \dot{\delta}^2 - \frac{1}{2} C_1 \delta^2, \quad (7)$$

где T – кинетическая энергия;
 Π – потенциальная энергия;
 m – масса якоря;
 C_1 – жесткость пружины.

Определив энергию электромагнитного поля и воспользовавшись формулой (7), можно определить механическую жесткость электромагнитной составляющей опоры. Вычисления показывают, что при значениях параметров ЭГВО [1] при $\delta = 0,001$ м и $L = 25,8$ Дж, значение $C_1 \approx 9,97 \cdot 10^3$ Н/м

Построим графики зависимости жесткости электромагнитной составляющей опоры C_1 от перемещения поршня δ при различных затратах энергии L (рисунок 3). Из рисунка можно сделать вывод о значительном росте коэффициента жесткости электромагнитной составляющей опоры при незначительном перемещении поршня, что свидетельствует о высокой чувствительности опоры при изменении условий виброзоляции.

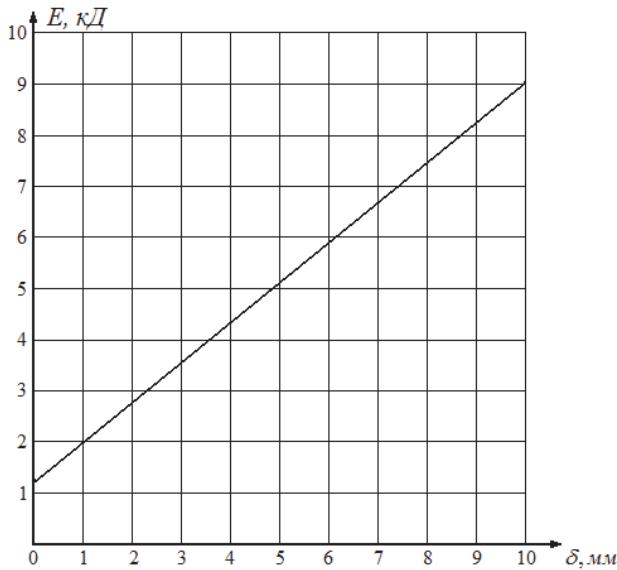


Рисунок 2 – График зависимости энергии электромагнитного поля от изменения расстояния при колебаниях δ (при $R_C \approx 1,30 \cdot 10^3$ Гн⁻¹ и $\Phi \approx 1,8 \cdot 10^{-2}$ Вб)

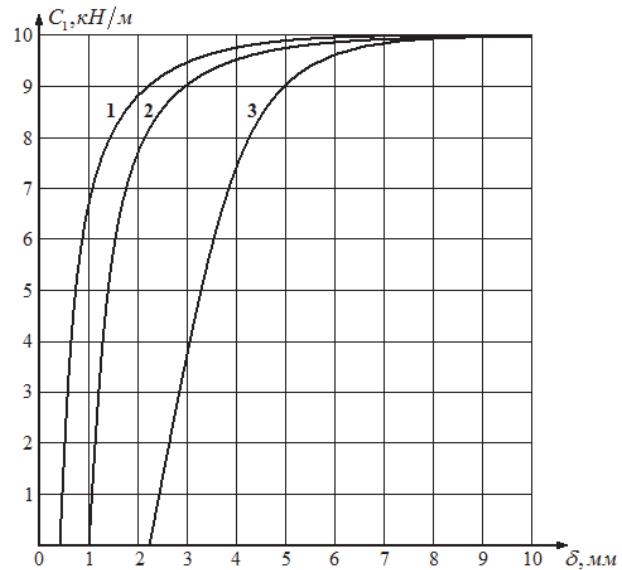


Рисунок 3 – Зависимость жесткости C_1 электромагнитной составляющей ЭГВО от перемещения δ при различных затратах энергии L : (1-10 Дж, 2-50 Дж, 3-250 Дж)

Из (4), (6) и (7) получаем уравнения Райса [3, 4].

$$\begin{cases} \Phi_1 + \frac{R_1}{w_1^2} \left[\frac{2(h_1 + \delta)}{\mu_0 S} + R_C \right] \Phi_1 = \varepsilon; \\ m \ddot{\delta} + C_1 \delta = -\frac{1}{w_1^2 \mu_0 S} \Phi_1^2, \end{cases} \quad (8)$$

где ε – ЭДС в цепи обмотки;
 R_1 – активное сопротивление цепи.

Выразив из (6) поток Φ_1 через ток i_1 и внеся его в (4) можно записать выражение для $E(i_1, \delta)$

$$\Phi_1 = \frac{i_1 w_1^2}{2(h_1 + \delta) + R_C} = \frac{i_1 w_1^2 \mu_0 S}{2(h_1 + \delta) + \mu_0 S R_C}.$$

Откуда следует

$$E = \frac{1}{2} \left(\frac{2(h_1 + \delta)}{\mu_0 S} + R_c \right) \frac{(i_1 w_1^2 \mu_0 S)^2}{(2(h_1 + \delta) + \mu_0 S R_c)^2} = \frac{(i_1 w_1^2)^2 \mu_0 S}{4(h_1 + \delta) + \mu_0 S R_c}. \quad (9)$$

По описанной выше схеме можно исследовать колебания в ЭГВО, так как там используется не один, а два электромагнита, притягивающие общий якорь.

Рассмотрим схему электромагнитов в ЭГВО (рисунок 4) [1].

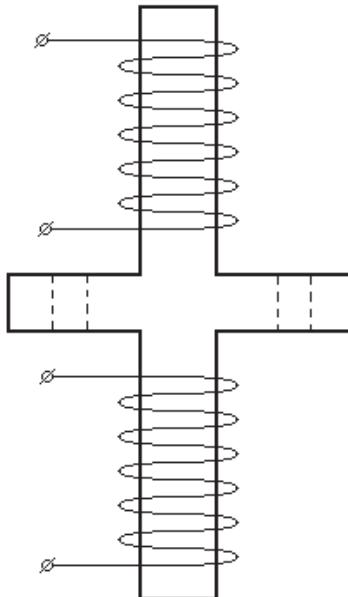


Рисунок 4 – Схема электромагнитов в ЭГВО

Будем предполагать, что магнитное сопротивление якоря мало по сравнению с суммой магнитных сопротивлений остальных участков общего сердечника. Это позволяет считать, что силовые линии замыкаются. Тогда вместо (6) по закону полного тока можно получить соотношение

$$w_1 i_1 + w_2 i_2 = \left(\frac{2(h_1 + \delta)}{\mu_0 S} + R_c \right) \Phi, \quad (10)$$

где i_2 – ток во второй обмотке;

w_2 – число ее витков.

При синусоидальном напряжении сети $U \sin \omega t$ и из (8) можно найти выражение для потока

$$\Phi_1 = \alpha - \frac{U}{\omega} \cos \omega t, \quad (11)$$

где α – произвольная постоянная.

Кроме этого можно составить и уравнение для определения механических колебаний в порождающем приближении

$$m \ddot{\delta} + C_1 \delta = -\frac{1}{w_1^2 \mu_0 S} \left(\alpha^2 + \frac{U^2}{2\omega^2} - \frac{2\alpha U}{\omega} k_1 \cos \omega t + \frac{U^2}{2\omega^2} k_2 \cos 2\omega t \right). \quad (12)$$

Его $2\pi/\omega$ -периодическое решение имеет вид

$$\begin{cases} \delta = -\frac{1}{w_1^2 \mu_0 S} \left(k_0 \left(\alpha^2 + \frac{U^2}{2\omega^2} \right) - \frac{2\alpha U}{\omega} k_1 \cos \omega t + \frac{U^2}{2\omega^2} k_2 \cos 2\omega t \right); \\ k_0 = \frac{1}{C_1}; k_1 = \frac{1}{C_1 - m\omega^2}; k_2 = \frac{1}{C_1 - 4m\omega^2}, \end{cases} \quad (13)$$

Для определения α используется уравнение третьей степени

$$P(\alpha) \equiv \alpha(a - b - a_1 \alpha^2) = 0, \quad (14)$$

где

$$a = R_c + \frac{2h_1}{\mu_0 S} - \frac{k_0 U^2}{(w\omega\mu_0 S)^2}; \quad a_1 = \frac{2}{(\mu_0 S)^2}; \quad b = \frac{2U^2 k_1 \cos \omega t}{(w\omega\mu_0 S)^2}.$$

При этом известно, что отвечающий некоторому решению $\alpha = \alpha_*$ уравнения (14) периодический режим будет устойчив, если при $\alpha = \alpha_*$ выполняется неравенство [3]

$$\frac{dP}{da} = a - b - 3a_1\alpha^2 > 0. \quad (15)$$

Расчеты, проведенные с использованием конструктивных параметров опоры [1] и вышеприведенных теоретических исследований (в том числе (13)-(15)) дают следующие результаты:

- при частоте $\omega = 50 \text{ Гц}$ имеем значения коэффициентов $k_0 \approx 1,01 \cdot 10^{-4}$, $k_1 \approx 1,34 \cdot 10^{-4}$, $k_2 \approx 3,3 \cdot 10^{-2}$, $a \approx 8,92 \cdot 10^6$, $a_1 \approx 3,12 \cdot 10^{14}$, $b \approx 6,82 \cdot 10^6$;
- найденные значения коэффициентов позволили определить значение α_* (отличный от нуля корень уравнения (14)) $\alpha_* \approx 2,59 \cdot 10^{-5}$;
- подстановка α_* в условие (15) приводит к $\frac{dP}{da} \approx 1,47 \cdot 10^6 \gg 0$, что подтверждает устойчивость ЭГВО как колебательной системы;
- по результатам расчетов и с использованием формул (13) построен график механических колебаний δ от времени t (рисунок 5).

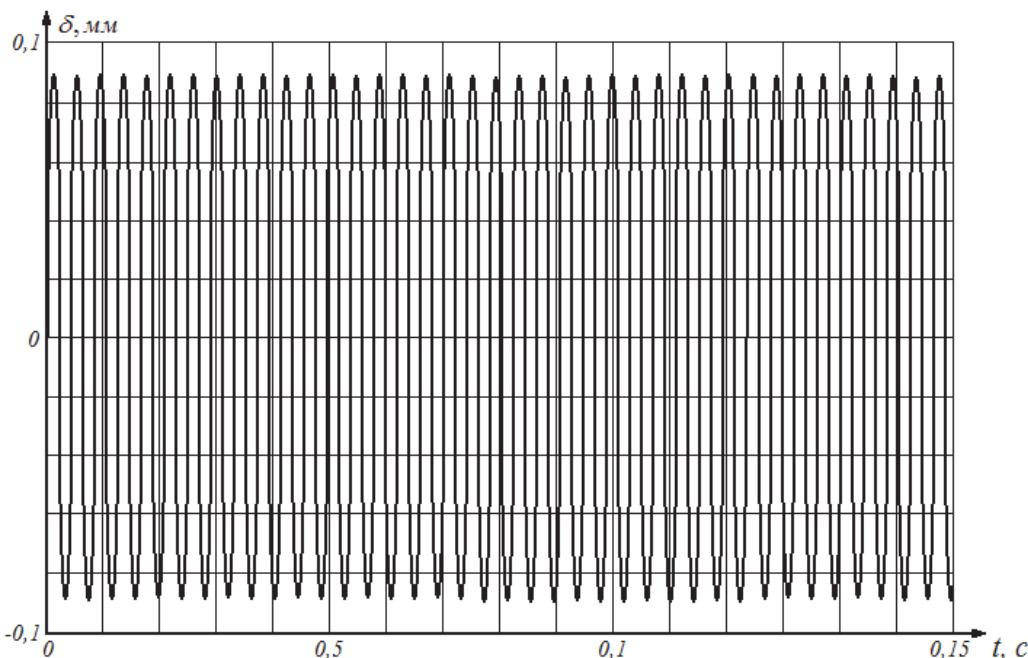


Рисунок 5 – График зависимости механических колебаний δ от времени t для ЭГВО при частоте $\omega = 50 \text{ Гц}$

Исходя из проведенного исследования свободных колебаний гидравлических виброзолирующих опор нового типа, полученных формул и построенных графиков, можно сделать вывод о перспективности использования данных опор для виброзоляции судовых энергетических установок (главных и вспомогательных). Кроме того, полученные выводы позволят в дальнейшем изучить вынужденные колебания опоры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фомичев, П.А. Виброзолирующие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
- 2 Ионов, А.В. Средства снижения вибрации и шума на судах / А.В. Ионов. -СПб.: ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова, 2000. -348 с.
- 3 Козлов, В.Н. Математическое моделирование электромеханических систем с гистерезисом / В.Н. Козлов // Электротехника. -2002. -№4. -С. 52-56.
- 4 Фомичев, П.А. Расчет динамических параметров электромагнитной составляющей электромагнитной гидравлической виброзолирующей опоры / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // Реч. трансп. -2006. -№2. -С. 41-44.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброзоляция судовых энергетических установок

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

РАЗРАБОТКИ СИБИРСКОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ ПО СОЗДАНИЮ ЭТАЛОННОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»

Г.В. Шувалов, И.В. Клековкин, А.А. Мамонов, А.П. Ильин

DEVELOPMENT OF THE SIBERIAN INSTITUTE OF METROLOGY ON CREATION OF STANDARDS AND MEASURING INSTRUMENTS OF PARAMETERS OF OIL PRODUCTS

National research Tomsk polytechnic university
Siberian research institute of metrology

G.V. Shuvalov, I.V. Klekovkin, A.A. Mamonov, A.P. Ilyin

In article presents results of researches on creation of standards and measuring instruments of parameters of oil products.

Keywords: oil products, standards, measuring instruments

Приведены результаты исследований по созданию эталонов и средств измерений параметров нефтепродуктов.

Основной целью проводимых в Сибирском институте метрологии научных исследований и разработок является повышение научно-технического уровня государственных эталонов единиц величин, развитие теоретических основ метрологии, изыскание и исследование новых физических эффектов, совершенствование методов и средств измерений.

Одной из научных разработок прикладного значения, связанной с созданием эталонных средств измерений в приоритетных областях направлениях развития науки, технологий и техники Российской Федерации является [1]:

- создание эталонных средств воспроизведения единицы температурного коэффициента объемного расширения нефтепродуктов;
- разработка средств измерений для определения параметров нефтепродуктов;
- создание метрологического обеспечения разработки и применения новых материалов для топливо-энергетического комплекса, которое связано с использованием наноматериалов, в том числе, нанопорошков металлов.

Ниже рассмотрены назначение, особенности и основные характеристики перечисленного эталонного оборудования и средств измерений.

Создание эталонных средств воспроизведения единицы температурного коэффициента объемного расширения нефтепродуктов в диапазоне температур до -60 °C на основе емкостного низкотемпературного дилатометра»

Целью данного научного направления является обеспечение единства измерений температурного коэффициента объемного расширения нефтепродуктов в диапазоне низких температур. Актуальность работы связана с тем, что действие ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» ограничено нижней точкой диапазона температур минус 25 °C. Между тем большинство месторождений нефти в России находятся за полярным кругом. Температурный фон в зимнее время в этих районах достигает минус (50-60) °C. В этих условиях точный учет массы нефтепродуктов становится невозможным, так процедуры пересчета плотности нефтепродукта с температуры 20 °C на температуру, при которой измеряется фактический объем нефтепродукта невозможен из-за ограничений таблиц пересчета ГОСТ 3900-85 (нижняя температура -25 °C). Кроме этого ГОСТ 3900-85 не учитывает влияние сортности нефтепродуктов, так как нефти из разных месторождений существенно отличаются по своим теплофизическими свойствам, что вносит значительную погрешность в результат определения массы нефтепродукта. Предложено решение этой задачи путем создания эталонных средств воспроизведения единицы температурного коэффициента объемного расширения, которые позволят определять плотность нефтепродуктов на основе данных по коэффициенту объемного расширения.

Для решения данной задачи был создан эталонный дилатометр для измерений коэффициента объемного расширения нефтепродуктов (рисунок 1) и проведены экспериментальные исследования метрологических характеристик созданного эталонного дилатометра.

Средства измерений для определения параметров нефтепродуктов. Для контроля качества нефтепродукта и соответствия требованиям технического регламента "О требова-

ниях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топлину для реактивных двигателей и топочному мазуту» по отдельным показателям нефтепродуктов в Сибирском научно-исследовательском институте метрологии были разработаны комплектные лаборатории анализа нефтепродуктов типа «КЛАН-1». Они предназначенные для анализа и контроля физико-химических параметров нефтепродуктов как в стационарных условиях, так и в местах хранения и продажи нефтепродуктов. Лаборатории могут быть двух модификаций: стационарные и мобильные, размещенные в специально оборудованном транспортном средстве (автомобиле, речном судне или вертолете). На лабораторию получен патент на полезную модель № 42207 «Передвижная комплектная лаборатория «КЛАН-1» (рисунок 2).

Мобильные лаборатории могут оснащаться персональной ЭВМ с принтером, что позволяет выдавать протокол анализа качества нефтепродуктов на месте проведения испытаний, а также хранить в памяти данные анализа с привязкой времени и даты анализа.

В 2003–2010 гг. лабораториями «КЛАН-1» были оснащены ряд организаций Новосибирской, Кемеровской, Красноярской и Курганской областей, а также стран СНГ (Республики Казахстан и Узбекистан). Как правило, все отечественные мобильные лаборатории прошли аккредитацию и успешно работают в течении 5-8 лет.

Как указывалось выше, дополнительно к коэффициенту объемного расширения нефтепродуктов необходимо знать плотность нефтепродукта при определенной температуре. Для нефти и нефтепродуктов плотность является нормируемым показателем качества и подлежит при использовании обязательному определению согласно ГОСТ 3900-85 «Нефть и нефтепродукты. Методы определения плотности» и ГОСТ Р 51069-97 «Метод определения плотности, относительной плотности и плотности в градусах API ареометром».



a)



б)

Рисунок 2 – Мобильная лаборатория «КЛАН-1»: а) патент на полезную модель лаборатория «КЛАН-1»; б) общий вид лаборатории «КЛАН-1» для Республики Казахстан

В России стандартизированы два метода определения плотности: ареометрический и пикнометрический по ГОСТ 3900-85, которые хотя и обеспечивают необходимую точность, не всегда удовлетворяют требованиям практики. Вместе с тем зачастую возникает необходимость оперативного определения плотности нефтепродуктов в местах их хранения и использования, особенно в полевых условиях. Это привело к созданию альтернативного барботажно-пузырьковый метода определения плотности нефтепродуктов.

Преимуществом метода является преобразование непрерывной неэлектрической величины – разности давлений – в последовательность дискретного счета пузырьков воздуха при барботаже его через исследуемую жидкость. Измерительная система плотномера со-

стоит из двух измерительных трубок, помещенных в исследуемую жидкость (рисунок 3).

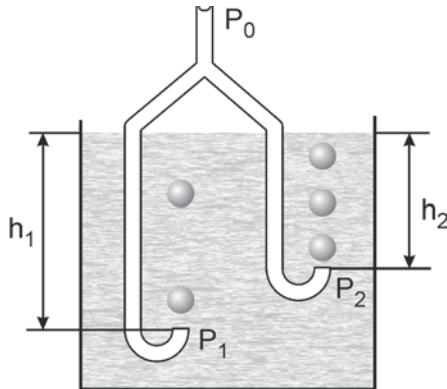


Рисунок 3 – Измерительная система для определения плотности жидкости

В трубы под избыточным давлением подается воздух от компрессора так, чтобы он барботировался через измерительные трубы в режиме одиночных пузырей.

Для указанной системы было получено выражение для определения плотности в виде

$$\rho = \sqrt{\frac{(\alpha_2 v_2 - \alpha_1 v_1) d\sigma}{g^2 (h_2 - h_1)}}, \quad (1)$$

где α_i – коэффициент расхода газа через измерительные трубы;
 v_i – частота следования пузырьков на выходе измерительных трубок;
 g – ускорение свободного падения;
 σ – поверхностное натяжение жидкости;
 h_i – глубина погружения трубок.

С учетом проведенных исследований была разработана конструкция прибора, предназначенного для измерения плотности ГСМ, и разработана методика его применения для контроля плотности судовых топлив.

Создание метрологического обеспечения разработки и применения новых материалов для топливо-энергетического комплекса. Успешное использование нанопорошков металлов в различных областях техники и технологии обуславливает наличие подробных сведений об их физико-химических характеристиках.

В этой связи были выполнены работы по созданию метрологического комплекса для обеспечения единства измерений термохимических свойств нанопорошков металлов, в том числе:

- температуры начала окисления до 600 °C;
- степени окисленности до 50%;
- теплового эффекта реакции до 6000 кДж/кг.

Таким образом, проводимые в настоящее время в Сибирском институте метрологии научные исследования и разработки являются основой для повышения научно-технического уровня государственных эталонов единиц величин, развитие теоретических основ метрологии и совершенствование методов и средств измерений. Создание и практическая деятельность Центра метрологического обеспечения и оценки соответствия нанотехнологий и продукции наноиндустрии в Сибирском федеральном округе показало высокую эффективность такой организационной формы развития инфраструктуры нанотехнологий при решении задач метрологического обеспечения нанотехнологий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Экономия горючесмазочных материалов при работе двигателей внутреннего сгорания / Г.В. Шувалов [и др.] // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2003. -Вып.VI. -С. 49-52.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, эталоны, средства измерений
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шувалов Геннадий Владимирович, канд. техн. наук, заместитель директора ФГУП «СНИИМ»
Клековкин Иван Владимирович, заместитель начальника лаборатории ФГУП «СНИИМ»
Мамонов Анатолий Алексеевич, начальник сектора ФГУП «СНИИМ»
Ильин Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»
634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КОНЦЕНТРАЦИИ СВИНЦА

ФГУП «Сибирский научно-исследовательский институт метрологии»
 ФГУП Государственный научный центр «Центральный научно-исследовательский институт им. акад. А.Н. Крылова»
 Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО
 «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Г.В. Шувалов, В.Н. Половинкин, И.В. Клековкин, М.Г. Клековкина, О.А. Ясырова

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF DEVICE FOR EXPRESS ANALYSIS OF CONCENTRATION LEAD

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, M.G. Klekovkina, O.A. Yasyrova

In article results of pilot studies of the device for the express analysis of concentration of lead are given in automobile gasoline.

Keywords: oil products, lead, express analysis

Приведены результаты экспериментальных исследований прибора для экспресс-анализа концентрации свинца в автомобильном бензине.

В настоящее время, в связи необходимости проведения большого количества анализов нефтепродуктов, актуальной задачей является разработка средств измерений для экспресс-анализа характеристик нефтепродуктов, установленных техническим регламентом "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и топочному мазуту".

Этот регламент устанавливает требования к параметрам топлив, обеспечивающих безопасность человека и окружающей среды при применении и хранении нефтяных топлив.

Одним из запрещенных регламентом компонентов является свинец. Методы определение его концентрации в бензине изложены в национальном стандарте ГОСТ 28828-90 «Бензины. Метод определения свинца». Метод заключается в экстрагировании соединений свинца раствором монохлорида йода, разрушении монохлорида йода растворами аммиака и серноватистокислого натрия и спектрофотометрическом определении свинца в виде комплекса с 4-(2-пиридинил-азо)-резорцинолом (ПАР) или с сульфарсазеном (плюмбоном).

Однако, этот метод является трудоемким, и соответственно, длительным по времени.

В данной работе рассмотрен метод экспресс-анализа содержания свинца в бензине, который позволяет устранить недостатки, присущие стандартному методу определения свинца в бензине. Принцип действия основан на разложении тетраэтилсвинца при облучении его ультрафиолетовым излучением с длиной волны 320-350 нм с последующим фотометрическим определением свинца после его реакции с сульфарсазеном (плюмбоном).

Плотность цветонасыщения полученного соединения зависит от содержания в нем свинца.

Фотометрирование проводится измерительным прибором, построенным по однолучевой двухканальной схеме.

Индикаторная бумага (далее – индикатор), чертеж которой приведен на рисунке 1, предварительно смоченная в контролируемом бензине и обработанная ультрафиолетовым излучением, попеременно освещается красным и зеленым светом. Отраженный от бумаги свет попадает на фотоприемник, при этом отношение интенсивностей отраженных красного и зеленого света зависит от содержания свинца в бензине. Измерительный прибор рассчитывает содержание свинца в бензине и индицирует его в цифровом виде.

Работу измерительного прибора рассмотрим с помощью функциональной схемы (рисунок 2). Индикатор 12 после предварительной обработки помещают в первичный преобразователь (ПП) и закрепляют прижимным устройством 1. Индикатор попер-

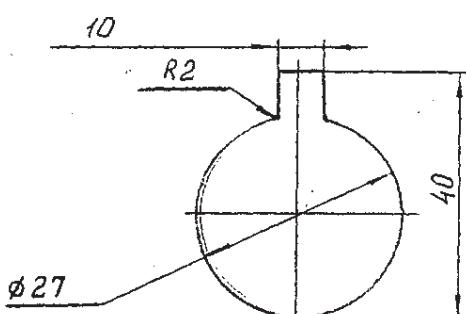


Рисунок 1 – Индикаторная бумага для определения свинца

менно освещается источниками 2, 3 с разным спектральным составом (красным и зеленым). Отраженный от индикатора свет попадает на фотоприемник 4.

Электрический сигнал от фотоприемника поступает на усилитель 5 и далее на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) 6. Разной концентрации свинца соответствует разная окраска индикатора, что приводит к изменению показаний АЦП и позволяет контроллеру вычислить измеряемую концентрацию.

Вычисленное значение через буфер 8 выводится на табло 9. Кнопками 11 задаются режимы работы прибора. Блок питания 10 обеспечивает работу прибора от сети переменного тока напряжением 220 В частотой 50 Гц.

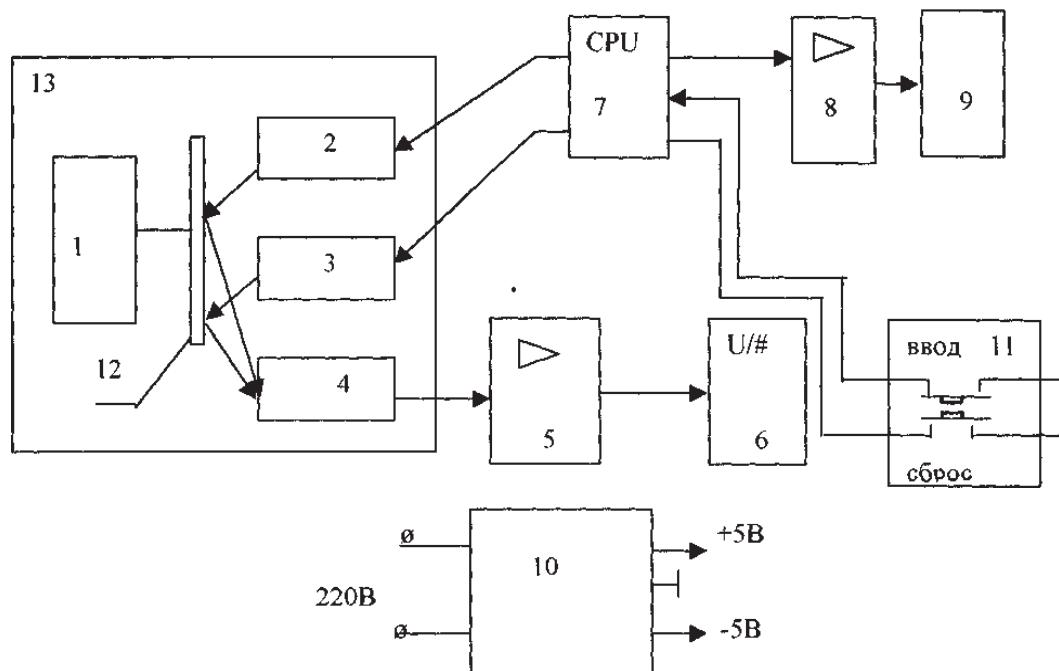


Рисунок 2 – Функциональная схема анализатора: 1-прижимное устройство; 2, 3-источник света; 4-фотоприемник; 5-усилитель; 6-АЦП; 7-контроллер; 8-буферный каскад; 9-табло; 10-блок питания; 11-кнопки; 12-индикатор; 13-первичный преобразователь

С использованием макета прибора были проведены экспериментальные исследования для установления метрологических характеристик прибора. Для испытаний применялись бензин АИ-92-50 с раствором тетраэтилсвинца различной концентрации.

Результаты испытаний приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты опытов по определению концентрации в автомобильном бензине

Марка бензина	Содержание свинца, г/л	Измеренное содержание свинца, г/л	Среднее значение, г/л	Относительная погрешность, %
Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50	0,013	0,011; 0,012; 0,012; 0,011; 0,012; 0,012; 0,012; 0,011; 0,015; 0,012; 0,009; 0,014	0,0119	8,5
Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50	0,013	0,012; 0,013; 0,012; 0,015; 0,012; 0,014; 0,012; 0,010; 0,013; 0,013; 0,015; 0,012	0,0127	2,5
Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50	0,010	0,012; 0,011; 0,011; 0,010; 0,011; 0,011; 0,011; 0,012; 0,011; 0,010; 0,011; 0,011	0,011	10,0
Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50	0,15	0,16; 0,15; 0,16; 0,14; 0,15; 0,13; 0,15; 0,16; 0,15; 0,15; 0,15; 0,12	0,147	2,0
Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50	0,09	0,09; 0,08; 0,09; 0,07; 0,08; 0,10; 0,09; 0,08; 0,09; 0,08; 0,09; 0,10	0,086	4,5

По результатам испытаний построены гистограммы определения содержания свинца. На рисунке 3 приведена типичная гистограмма определения содержания свинца в бензине

марки АИ-92-50 с раствором тетраэтилсвинца концентрации 0,013 г/л, а на рисунке 4 - график зависимости погрешности от концентрации.

Из данных таблицы видно, что погрешность измерения не превышает 10%.

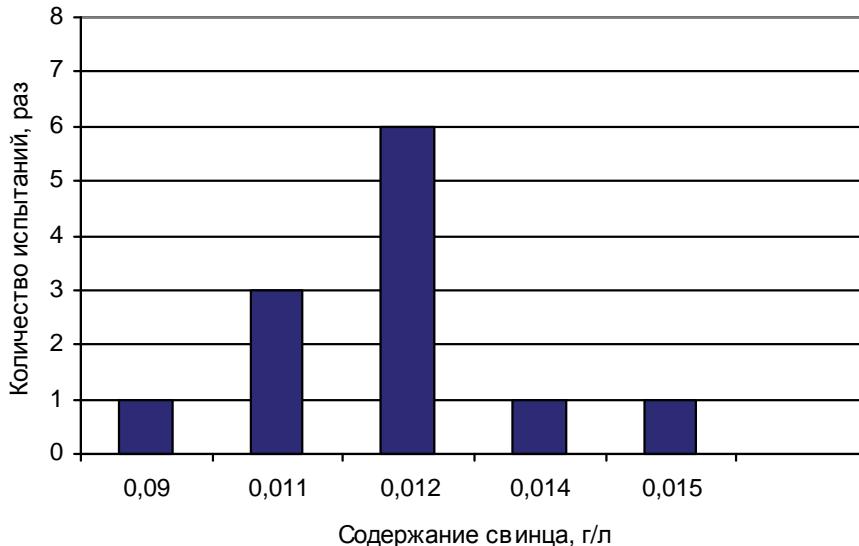


Рисунок 3 – Раствор тетраэтилсвинца в бензине АИ-92-50 (0,013 г/л)

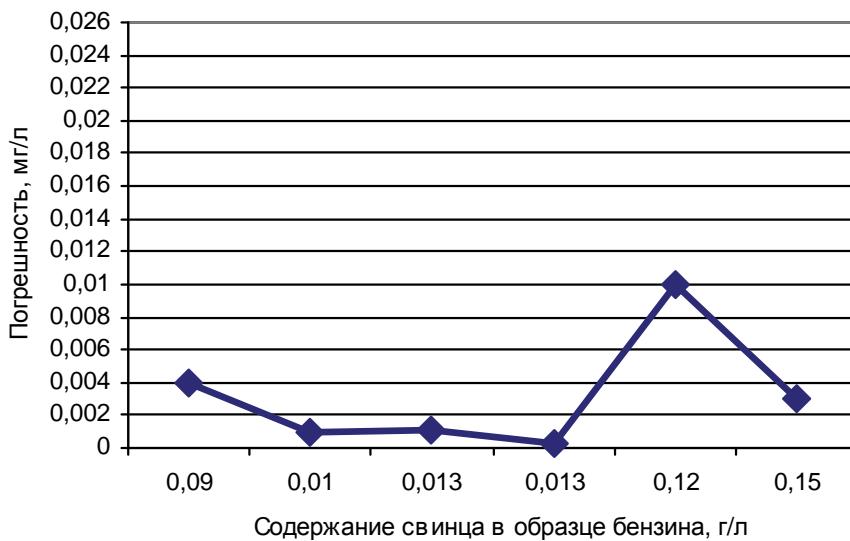


Рисунок 4 – График зависимости погрешности от содержания свинца

Таким образом, в результате проведенных экспериментальных исследований установлено, что рассмотренный метод определения концентрации свинца в автомобильном бензине можно использовать в качестве экспресс-метода.

Кроме того, подбором тона «проявляющего» компонента, дающего специфическую окраску на железо и марганец, этим методом можно также определять указанные компоненты в автомобильном бензине.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нефтепродукты, свинец, экспресс-анализ

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»

Клековкина Мария Геннадьевна, инженер ФГУП «СНИИМ»

Ясырова Ольга Александровна, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 196158, г.Санкт-Петербург, Московское шоссе, 44, ФГУП ГНЦ «ЦНИИ им. акад. А.Н. Крылова»

630004, г.Новосибирск, пр.Димитрова, 4, ФГУП «СНИИМ»

644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева

RESEARCH VIBRATIONAL PROCESSES IN ELECTROMAGNETIC HYDRAULIC VIBRATION-DAMPING SUPPORT. FORCED OSCILLATIONS

Novosibirsk state academy of water transport
P.A. Fomichev, E.V. Fomicheva

The article deals with the study of forced oscillations of the electromagnet vibro-solarwise support (EGVO). The conclusion about good suppression you force fluctuations of the support, thereby to decrease the amplitude of you-force vibrations of the engine.

Keywords: vibration insulation of ship power installations

Проведено исследование вынужденных колебаний электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры (ЭГВО). Сделан вывод о хорошем подавлении вынужденных колебаний опорой, тем самым уменьшить амплитуду вынужденных колебаний двигателя.

Определим основные параметры модели электромагнитной гидравлической виброизолирующей опоры (ЭГВО) при ее вынужденных колебаниях [1].

Основными параметрами виброизолирующей опоры при ее вынужденных колебаниях являются следующие: динамическая жесткость C ; коэффициент динамичности χ ; начальная фаза вынужденных колебаний φ ; коэффициент увеличения Ω ; коэффициент передачи j .

Определим динамическую жесткость ЭГВО как колебательной системы в зависимости от частоты возбуждения по формуле [2].

$$C_s = C - m\omega^2. \quad (1)$$

Картину изменения динамической жесткости опоры от изменения частоты возбуждения по абсолютной величине изобразим на графике, на рисунке 1.

Анализируя график можно сделать следующие выводы:

- динамическая жесткость изучаемой колебательной системы незначительно отличается от статического коэффициента жесткости на частотах от 0 до 20 Гц;
- обе жесткости совпадают на частоте $\omega = 13,1$ Гц (на частоте собственных колебаний ω_0);
- при частоте $\omega > 20$ Гц наблюдается резкое расхождение жесткостей.

Определим динамический коэффициент ЭГВО как колебательной системы в зависимости от частоты возбуждения по формуле

$$\chi = \frac{\theta}{\theta_{cm}} = \frac{1}{\sqrt{\left(1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}\right)^2 + \frac{\omega^2}{\omega_0^2} a}}, \quad (2)$$

где ω – частота возмущающей силы;

ω_0 – частота свободных колебаний;

a – коэффициент демпфирования.

Картину изменения динамического коэффициента опоры изобразим на графике, на рисунке 2.

Анализируя график можно сделать следующие выводы:

- амплитуда вынужденных колебаний значительно мала и она тем меньше, чем ближе частота возмущающей силы к частоте свободных колебаний виброизолированного механизма;

– при совпадении этих частот, то есть при резонансе, амплитуда колебаний является величиной конечной, а не бесконечной.

Определим начальные фазы вынужденных колебаний ЭГВО в зависимости от частоты возбуждения по формуле

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{\omega}{\omega_0}}{1 - \frac{\omega^2}{\omega_0^2}} a . \quad (3)$$

Картину изменения начальных фаз опоры изобразим на рисунке 3.

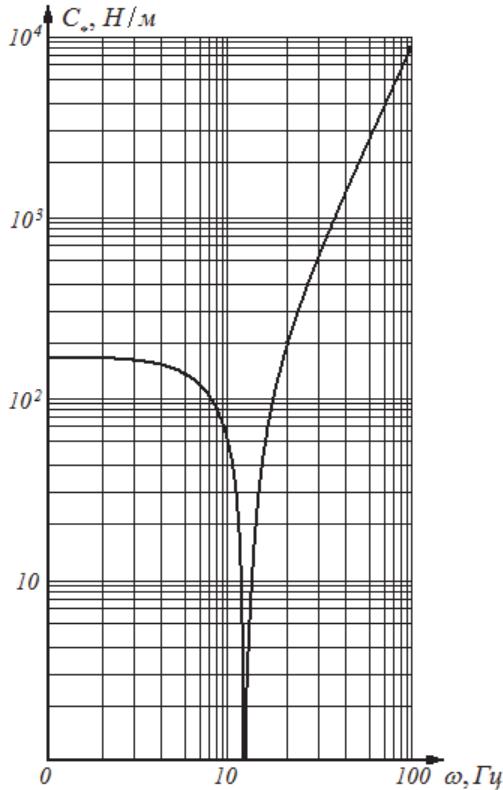


Рисунок 1 – Зависимость динамической жесткости ЭГВО C_s от частоты возбуждения ω при коэффициенте жесткости опоры $C \approx 1,79 \cdot 10^2$ Н/м и $m = 1$ кг

График представляет собой традиционную кривую, проходящую через точки $(0;0)$ и $(\omega_0; 90^\circ)$. Из рисунка находим $\omega_0 = 13,1$ Гц, что соответствует таблице [2].

В качестве показателя изменения амплитуды колебаний механизма при упругой связи с внешним абсолютно жестким основанием, по сравнению со случаем, когда механизм находится в свободно взвешенном состоянии, используется коэффициент увеличения Ω . Вычислим коэффициент увеличения ЭГВО как колебательной системы по формуле

$$\Omega = \frac{\left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2}{\sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} \cdot a\right)^2}} . \quad (4)$$

Картину изменения коэффициента увеличения опоры изобразим на графике, на рисунке 4.

Анализируя полученный график, можно сделать следующий вывод: после прохождения частоты $\omega_0 = 13,1$ Гц (где коэффициент увеличения вынужденных колебаний достигает своего максимума $\Omega \approx 9,1$) с дальнейшим увеличением ω , Ω принимает значения близкие к

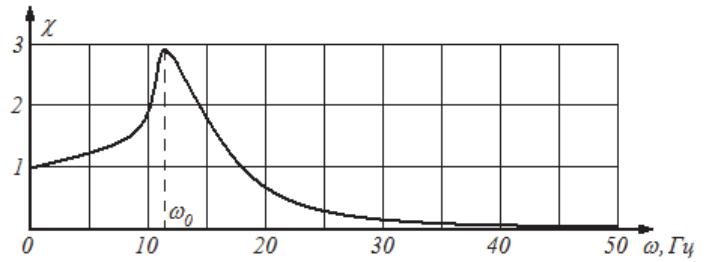


Рисунок 2 – Зависимость динамического коэффициента χ ЭГВО от частоты возбуждения ω при коэффициенте демпфирования $a = 0,11$ и $\omega_0 = 13,1$ Гц

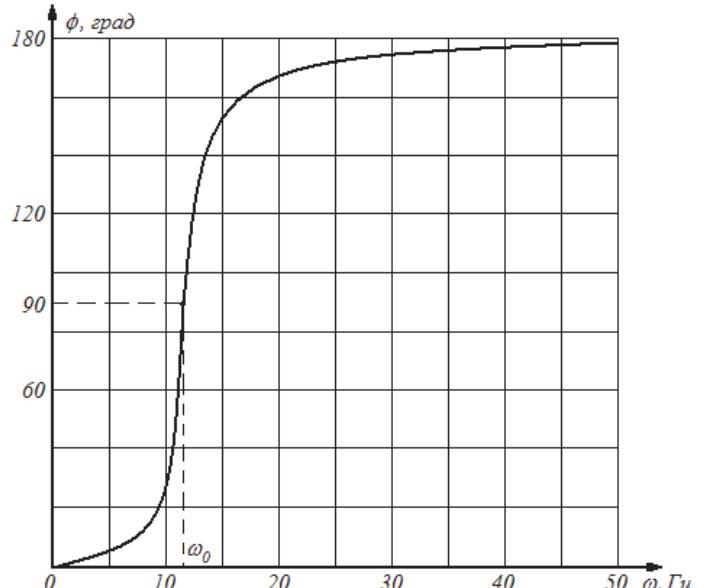


Рисунок 3 – Зависимость начальных фаз вынужденных колебаний ϕ ЭГВО от частоты возбуждения ω

единице.

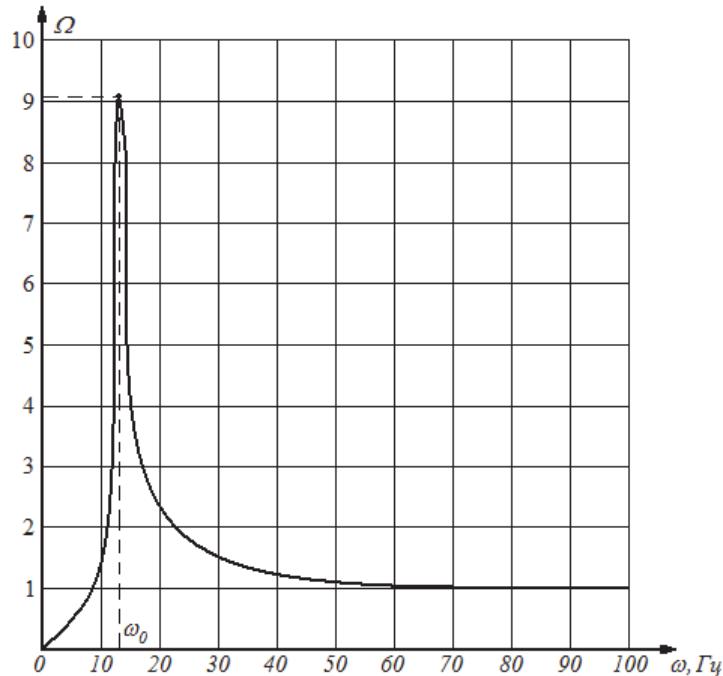


Рисунок 4 – Зависимость коэффициента увеличения Ω вынужденных колебаний ЭГВО от частоты возбуждения ω при коэффициенте демпфирования $a = 0,11$ и $\omega_0 = 13,1 \text{ Гц}$

Для решения вопроса о том, в какой мере с помощью виброзолятора можно смягчить усилия, передаваемые остовом двигателя его основанию, вводят коэффициент передачи j . Определим коэффициент передачи ЭГВО как колебательной системы в зависимости от частоты возбуждения по формуле

$$j = \sqrt{1 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} a\right)^2} / \sqrt{\left(1 - \left(\frac{\omega}{\omega_0}\right)^2\right)^2 + \left(\frac{\omega}{\omega_0} a\right)^2}. \quad (5)$$

Картину изменения коэффициента передачи опоры изобразим на рисунок 5.

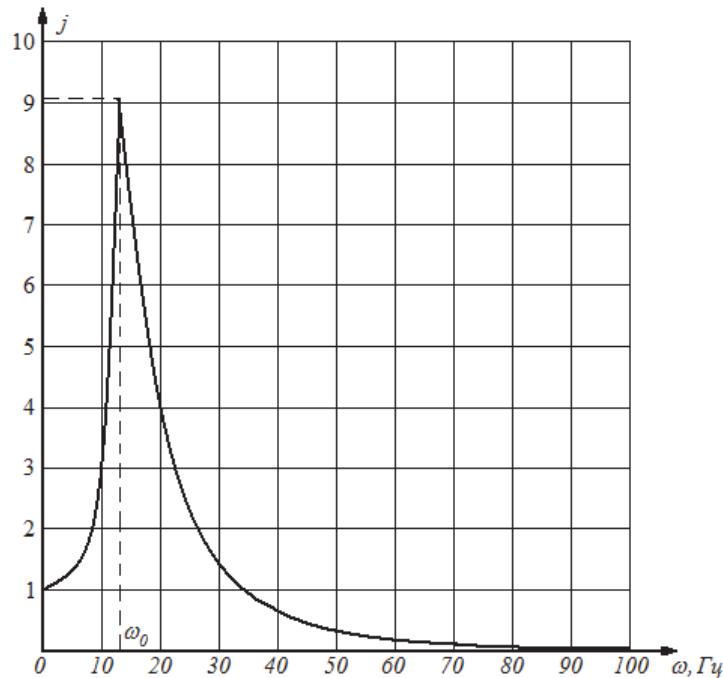


Рисунок 5 – Зависимость коэффициента передачи j вынужденных колебаний ЭГВО от частоты возбуждения ω

Проводя анализ полученной графической зависимости можно сделать следующие выводы:

- при $\omega = 0$, амплитуда силы, передаваемой фундаменту, равна амплитуде возмущающей силы. По мере приближения ω к ω_0 она все время возрастает;
- при $\omega = \omega_0$ достигается $j_{\max} \approx 9,1$;
- при $\omega > \omega_0$ коэффициент j убывает до 0;
- характерной точкой графика является следующая точка: при $\omega = \omega_0 \sqrt{2}$ значения $j = 1$.

То есть при этом значении амплитуда силы, передаваемой фундаменту, опять оказывается равной амплитуде возмущающей силы.

Определив основные характеристики модели ЭГВО при ее вынужденных колебаниях, оформим результаты в таблице.

Таблица – Основные характеристики модели ЭГВО при ее вынужденных колебаниях

Параметр	Обозначение	Значение	Единица измерения
Динамическая жесткость	C	рисунок 1	Н/м
Коэффициент динамичности	χ	рисунок 2	–
Начальные фазы вынужденных колебаний	φ	рисунок 3	градус
Коэффициент увеличения	Ω	рисунок 4	–
Коэффициент передачи	j	рисунок 5	–

Используя основные параметры модели ЭГВО, построим графики стационарной части вынужденных колебаний (рисунок 6).

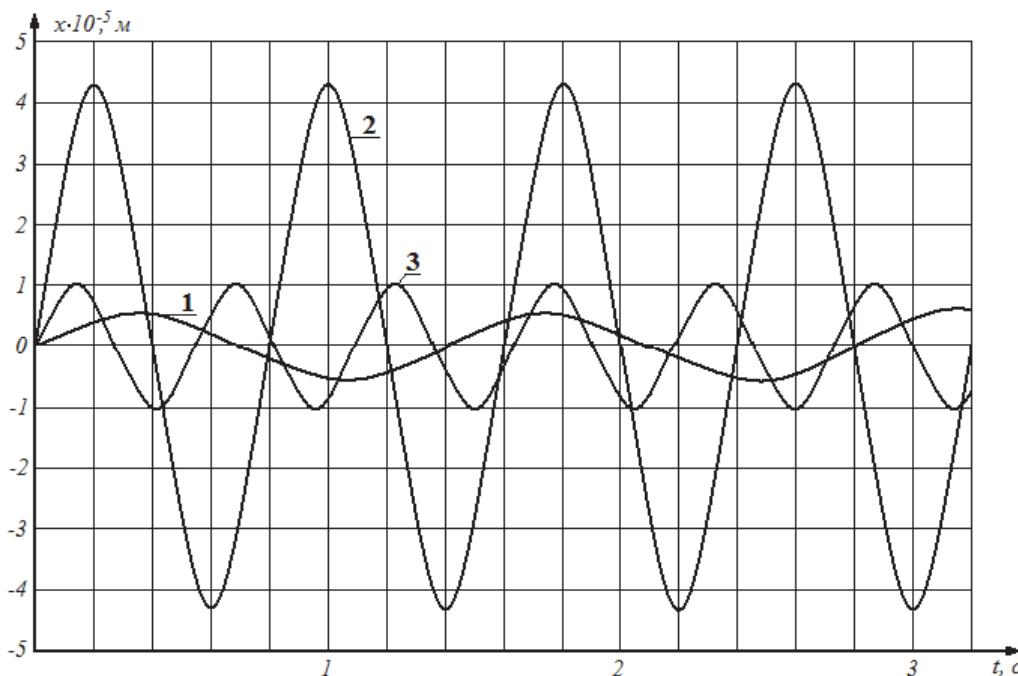


Рисунок 6 – Графики стационарной части вынужденных колебаний ЭГВО. Значение P принято за 100 Н: 1-при $\omega = 10$ Гц; 2-при $\omega = \omega_0 = 13,1$ Гц; 3-при $\omega = 30$ Гц

Из рисунка видно, что при $\omega = \omega_0 = 13,1$ Гц амплитуда вынужденных колебаний не более чем в 4 раза превышает амплитуду других частот, что говорит о высоких виброизолирующих качествах ЭГВО.

Построим график, определяющий амплитудно-частотную характеристику ЭГВО (рисунок 7).

Анализируя рисунки 6 и 7 можно сделать вывод о хорошем подавлении вынужденных колебаний опорой, что позволяет значительно снизить амплитуды перемещений, а также сместить резонансный пик в зону низких частот.

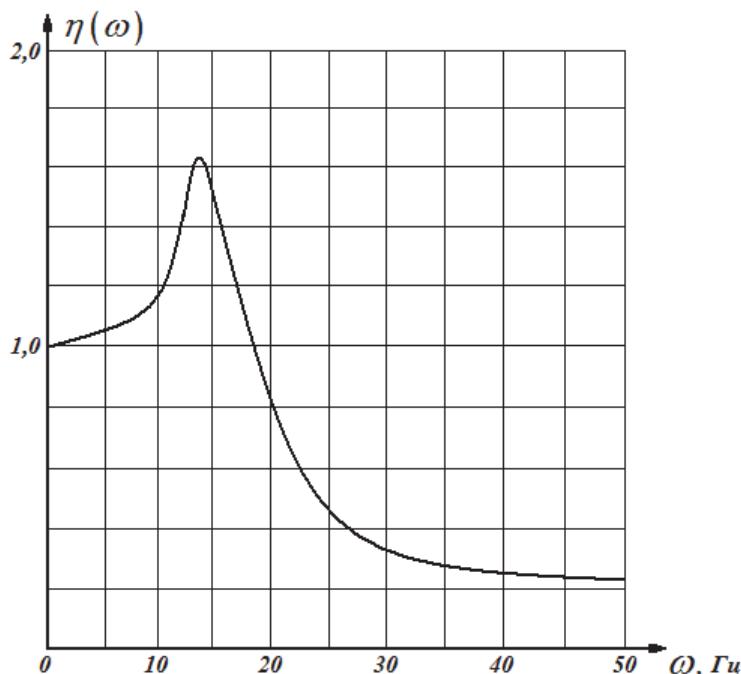


Рисунок 7 – Амплитудно-частотная характеристика ЭГВО

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Фомичев, П.А. Вибропримениющие гидравлические опоры нового поколения / С.П. Глушков, П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2005. -190 с.
- 2 Фомичев, П.А. Исследование вынужденных колебаний вибропримениющей опоры при действии произвольной возмущающей силы / П.А. Фомичев, Е.В. Фомичева // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2005. -№1/2. -С. 165-170.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: виброприменение судовых энергетических установок

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фомичев Павел Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Фомичева Елена Валерьевна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ НАГРЕВЕ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

ФГБОУ ВПО «Уральский государственный университет путей сообщения»

А.П. Буйносов, И.О. Шепелева

MODEL OF THERMAL PROCESS OF HARDENING OF STEEL OF BANDAGES OF WHEELPAIRS OF ELECTRIC LOCOMOTIVES

WHEN HEATING BY EVENLY DISTRIBUTED SOURCES

Ural state university of railway transport

A.P. Buinosov, I.O. Shepeleva

The model of hardening of steel of bandages at heat treatment of wheelpairs of electric locomotives with use is given in article motionless pulse or the fast-moving scanning thermal source creating a uniform tem-perature field.

Keywords: electric locomotive, wheel pair, bandage, hardening, heating, source, heat, process, model

Приведена модель упрочнения стали бандажей при термообработке колесных пар электровозов с использованием неподвижного импульсного или быстродвижущегося сканирующего теплового источника, создающего равномерное температурное поле.

В настоящее время широкое распространение получили технологии поверхностного упрочнения сталей мощными концентрированными источниками энергии, такими как лазерный луч, плазменная дуга. Для предотвращения оплавления поверхности и увеличения обрабатываемой площади применяют сканирование источника тепла. Плазменная дуга с поперечными электромагнитными колебаниями широко используется для упрочнения различных деталей из углеродистых сталей, в том числе для упрочнения гребней бандажей колесных пар

электровозов [1-3].

В настоящее время уже накоплен определенный опыт применения плазменной закалки [4, 5], однако теоретическая модель процесса нагрева источниками с низкой плотностью энергии отсутствует. Существующие теоретические модели нагрева концентрированными источниками с высокой плотностью энергии описывают, в основном, процессы с глубоким проплавлением поверхности [6, 7].

Создание математической модели процесса нагрева материала тепловым источником, энергия которого распределена на большой площади (например, за счет сканирования), позволит снизить затраты на проведение экспериментов и разработку соответствующей технологии.

Концентрированные источники имеют нормальное распределение энергии, которое с целью упрощения расчета можно привести к равномерному распределению [8]. В работе [2] для описания упрочнения сталей при импульсной термообработке предложено решение одномерной задачи теплопроводности, полученное для процесса нагрева и охлаждения полупространства под воздействием одиночного теплового импульса прямоугольной формы. Выбор такой математической модели представляется обоснованным в случае обработки большой площади, когда распределение температуры по этой площади близко к равномерному, что подтверждается экспериментальными данными [9, 10]. Однако решение исходного интегрального уравнения авторы работы [2] свели к вычислению безразмерных комплексных переменных, которые сложно использовать в реальном технологическом процессе.

Для расчета температурных полей можно воспользоваться известным решением для мгновенного плоского источника теплоты при нагреве полубесконечного тела [8]

$$T = \frac{Q}{c\gamma\sqrt{a\pi t}} \exp\left(-\frac{z^2}{4at}\right), \quad (1)$$

где T – температура тела;

Q – плотность энергии;

c – удельная теплоемкость;

γ – плотность стали;

a – коэффициент температуропроводности;

t – время процесса распространения тепла;

z – глубина от поверхности.

Из [9] известно, что если

$$V\delta/4a > 2,$$

где V – скорость движения источника тепла;

δ – толщина пластины,

то пластину можно рассматривать как полубесконечное тело. При упрочнении гребней бандажей колесных пар локомотивов плазменной дугой с поперечными электромагнитными колебаниями ($K = 1,4$ см/с; $\delta = 2,8$ см; $a = 0,08$ см²/с [8]) это условие выполняется ($K\delta/4a = 12,25$), поэтому можно использовать решение (1).

Это же решение можно применять и для более глубоких слоев, так как толщина упрочненного слоя (2 мм) мала по сравнению с толщиной гребня (28 мм).

Высокая скорость источника нагрева (1-2 см/с), значительно превышающая обычные скорости сварки, позволяет применить схему быстро движущегося источника [8].

Как показывает эксперимент, при частоте электромагнитных колебаний 50 Гц температурное поле является стационарным и не зависит от частоты, а тепловой поток можно принять постоянным и равномерно распределенным по всей ширине обрабатываемого участка.

Так как при нагреве массивного тела потери тепла в окружающую среду составляют около 1% [2], то ими можно пренебречь.

Обозначим тепловой поток как q , а время действия теплового источника как t_0 , для плазменной дуги с электромагнитными колебаниями, движущейся со скоростью V :

$$q = \eta N/S; \quad t_0 = d/V; \quad N = UI; \quad S = bd,$$

где η – коэффициент полезного действия источника;

N – мощность источника;

S – нагреваемая площадь;

U – напряжение;

- I* – ток дуги;
- b* – ширина колебаний дуги;
- d* – эффективный диаметр дуги.

Во время действия источника нагрева, обеспечивающего тепловой поток *q*, в момент времени *t* за период *dt'* выделится энергия $dQ = qdt'$ (рисунок 1). Подставив dQ в (1), получим выражение для приращения температуры

$$dT = \frac{qdt'}{c\gamma\sqrt{\pi}a(t-t')} \exp\left(-\frac{z^2}{4a(t-t')}\right),$$

или

$$T - T_0 = \frac{q}{c\gamma\sqrt{\pi}a} \int_0^B \frac{dt'}{\sqrt{t-t'}} \exp\left(-\frac{z^2}{4a(t-t')}\right), \quad (2)$$

где

$B = t$ при $t < t_0$ и $B = t_0$ при $t \geq t_0$;

T_0 – исходная температура или температура предварительного подогрева;

t' – время от начала нагрева.

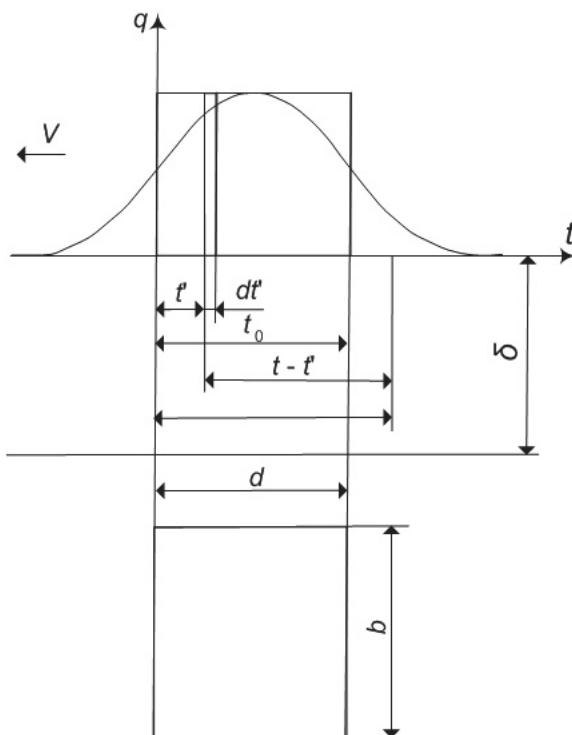


Рисунок 1 – Схема нагрева нормально распределенным источником, приведенным к равномерно распределенному

Очевидно, что максимальная температура достигается на поверхности ($z=0$) в момент окончания действия источника $t=t_0$. Ее легко получить, интегрируя (2)

$$T_m - T_0 = \frac{2q}{c\gamma\sqrt{\pi}a} \sqrt{\frac{t_0}{t}}. \quad (3)$$

Для упрощения введем безразмерные параметры: время $\tau = t/t_0$; время действия источника $\tau' = t'/t_0$; глубина; температура $\theta = (T - T_0)/(T_m - T_0)$. Выражение (2) примет вид

$$\theta = \frac{1}{2} \int_0^B \frac{d\tau'}{\sqrt{\tau-\tau'}} \exp\left(-\frac{z^2}{\tau-\tau'}\right), \quad (4)$$

где

$B = \tau$ при $\tau < 1$ и $B = 1$ при $\tau \geq 1$.

Для поверхности $Z=0$ интеграл (4) выражается в конечном виде

$$\theta = \sqrt{\tau} - \sqrt{\tau-1}, \quad (5)$$

и

$$\theta = \sqrt{\tau} \text{ для } \tau < 1. \quad (6)$$

Выражения (4)-(6) имеют одинаковый вид как для неподвижного импульсного, так и для непрерывного быстродвижущегося источников.

Результаты расчетов по уравнениям (4)-(6) представлены на рисунке 2.

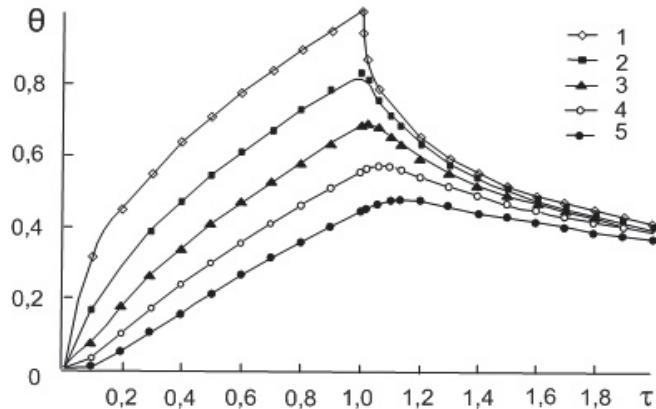


Рисунок 2 – Зависимость относительной температуры θ от относительного времени τ

Необходимо отметить, что для быстродвижущегося источника время удобнее отсчитывать не с начала действия источника, а с его конца, когда температура на поверхности максимальна. Изменение координаты времени не повлияет на вычисления, поскольку все вычисления производятся на кривой охлаждения.

В новой системе координат выражения (4) и (5) примут вид:

– для точек на глубине

$$\theta = \frac{1}{2} \int_0^1 \frac{d\tau'}{\sqrt{\tau + \tau'}} \exp\left(-\frac{Z^2}{\tau + \tau'}\right); \quad (7)$$

– для точек на поверхности

$$\theta = \sqrt{\tau + 1} - \sqrt{\tau}; \quad (8)$$

$$\tau = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\theta} - \theta \right)^2. \quad (9)$$

Для определения времени в старой системе координат нужно к вычисленному времени прибавить единицу.

Для процессов упрочнения большое значение имеет время нахождения металла в аустенитном состоянии t_a [1], которое для точек на поверхности можно вычислить как

$$\begin{aligned} \tau_a &= \frac{t_a}{t_0} = \frac{1}{4} \left(2 + \frac{1}{\theta_a^2} - 3\theta_a^2 \right); \\ \theta_a &= (T_a - T_0)/(T_m - T_0), \end{aligned} \quad (10)$$

где T_a – температура аустенитного превращения.

Как видно из выражений (8)-(10), рассчитать процесс нагрева поверхности при равномерно распределенном источнике не представляет никаких затруднений. Для подповерхностных слоев расчеты с использованием (8) возможны численными методами на ПЭВМ.

Для вычисления времени τ_m , необходимого для достижения максимальной температуры θ_m на глубине Z , необходимо производную $d\theta/d\tau$ приравнять нулю. В результате получается итерационное уравнение

$$\tau_m = 2Z^2 - \frac{\int_0^1 \frac{\tau' d\tau'}{\sqrt{(\tau_m + \tau')^5}} \exp\left(-\frac{Z^2}{\tau_m + \tau'}\right)}{\int_0^1 \frac{d\tau'}{\sqrt{(\tau_m + \tau')^5}} \exp\left(-\frac{Z^2}{\tau_m + \tau'}\right)}. \quad (11)$$

После подстановки τ_m в (7) возможно определить θ_m .

Безразмерный параметр глубины упрочнения Z может быть ограничен значением 0,4. Результаты компьютерных расчетов по уравнениям (7) и (11) приведены в таблице 1.

На рисунке 3 приведена зависимость $\tau_m(Z)$, а на рисунке 4 – $\theta_m(Z)$. Для точек в таблице 1 эти зависимости аппроксимируются выражениями $\tau_m = 1,235Z^{2,522}$ и $\theta_m = 1 - 1,2089Z^{0,8729}$.

Таблица 1 – Результаты компьютерных расчетов по уравнениям (7) и (11)

Z	τ_m	θ_m
0	0	1
0,05	0,0006857	0,914149
0,10	0,0035267	0,834054
0,20	0,0199325	0,691799
0,30	0,0588132	0,573651
0,40	0,1313577	0,478503

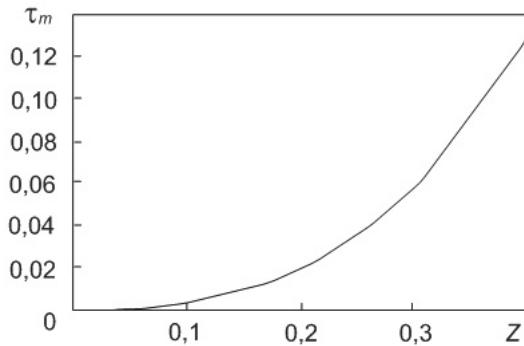


Рисунок 3 – Зависимость относительного времени τ_m достижения максимальной температуры от относительной глубины Z

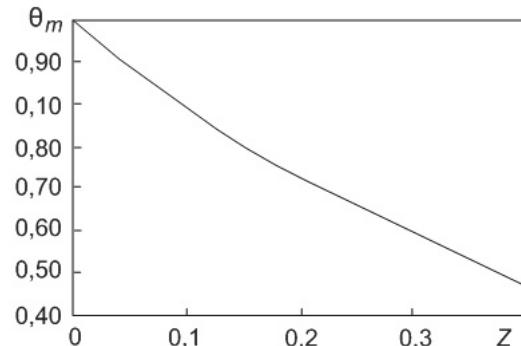


Рисунок 4 – Зависимость относительной максимальной температуры θ_m от относительной глубины Z

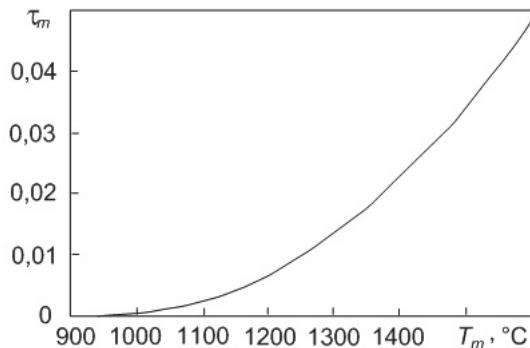


Рисунок 5 – Зависимость относительного времени τ_m от максимальной температуры нагрева поверхности T_m

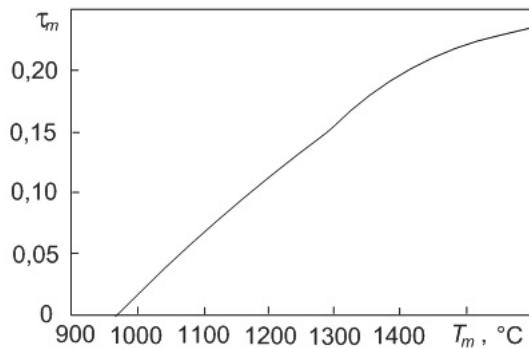


Рисунок 6 – Зависимость относительной глубины упрочненного слоя Z_m от максимальной температуры нагрева поверхности T_m

В работах [1, 2] для стали 45 и для стали бандажей колесных пар ограничивали глубину упрочнения изотермой 850 °C (температура аустенизации), однако в [4] в результате экспериментальных исследований процесса плазменного упрочнения было показано, что для среднеуглеродистых сталей эта температура должна быть не ниже 950 °C. В этом случае при $T_0 = 0$

$$\theta_a = \theta_m = 950/T_m .$$

Результаты вычислений времени τ_m достижения максимальной глубины нагрева Z_m для $T_0 = 950$ °C и температур нагрева поверхности $T_m = 1000-1500$ °C приведены в таблице 2.

На рисунке 5 представлена зависимость $\tau_m(T_m)$, а на рисунке 6 – $Z_m(T_m)$. Как видно из таблицы 2 и рисунка 6, уменьшение температуры нагрева поверхности с 1500 до 1000 °C приводит к резкому снижению глубины прогрева в 10 раз, поэтому поддержание заданной температуры поверхности является важнейшим фактором качественного упрочнения.

По данным таблиц 1 и 2 методом регрессионного анализа [11,12] получено приближенное уравнение для расчета глубины упрочнения

$$Z_m = 0,7838(1-\theta)^{1,1485} , \quad (12)$$

при использовании которого ошибка в наиболее распространенном диапазоне глубин $Z = 0,1\text{--}0,3$ не превышает 0,003.

Таблица 2 – Результаты вычислений

$T_m, ^\circ\text{C}$	$\theta_m = 950/T_m$	τ_m	Z_m
1000	0,950000	0,00019995	0,0287207
1100	0,863636	0,00213545	0,0810998
1200	0,791666	0,00645315	0,1280839
1300	0,730769	0,01329445	0,1708493
1400	0,678571	0,02271107	0,2102661
1500	0,633330	0,03473166	0,2469703
1600	0,593750	0,49409390	0,2814682

После соответствующих преобразований получаем уравнение для расчета глубины упрочнения

$$z = Z \sqrt{4at_0} = Z \sqrt{\frac{4ad}{V}},$$

где $Z_m = 0,7838(1 - \theta)^{1,1485}; \theta = \frac{T_a - T_0}{T_m - T_0}; T_m - T_0 = \frac{2\eta UI}{cyb\sqrt{\pi adV}}$.

Входящие в уравнения постоянные коэффициенты cy , ad для повышения точности расчетов целесообразно вычислить, используя экспериментальные данные по глубине упрочнения z и максимальной температуре нагрева поверхности T_m

$$cy = \frac{4\eta UI}{\sqrt{\pi bV(T_m - T_0)(z/Z)}}; ad = \frac{V}{a} \frac{z}{Z^2}.$$

В работе [9] при анализе процессов упрочнения бандажной стали марки 2 рассматривается время охлаждения $t_{8/5}$ в интервале температур 800-500 °С, а также средняя скорость охлаждения в интервале температур 600-500 °С. Выражения для расчета времени $t_{8/5}$ и скорости W_{550} при средней температуре 550 °С можно получить из следующих соображений.

Для поверхности $\theta = \sqrt{\tau + 1} - \sqrt{\tau}$, $\tau = \frac{1}{4} \left(\frac{1}{\theta} - \theta \right)$ безразмерная скорость охлаждения W составляет

$$W = \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\tau + 1}} - \frac{1}{\sqrt{\tau}} \right),$$

а истинная скорость охлаждения

$$w = \frac{dT}{dt} = \frac{(T_m - T_0)}{t_0} \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{T_m - T_0}{t_0} W.$$

Тогда $t_{8/5} = t_0 \cdot \tau_{8/5}$,

$$\tau_{8/5} = \frac{1}{4} \left[\left(\frac{1}{\theta_{500}} - \theta_{500} \right)^2 - \left(\frac{1}{\theta_{800}} - \theta_{800} \right)^2 \right]; \theta_{500} = \frac{500 - T_0}{T_m - T_0}; \theta_{800} = \frac{800 - T_0}{T_m - T_0};$$

$$w_{550} = \frac{T_m - T_0}{t_0} W_{550}; W_{550} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{\sqrt{\tau_{550}}} - \frac{1}{\sqrt{\tau_{550} + 1}} \right),$$

(знак скорости изменен на положительный). Относительное время охлаждения на глубине определяется выражением $\tau_{8/5} = \tau_{500} - \tau_{800}$, а относительные времена τ_{500} , τ_{550} и τ_{800} рассчитываются по уравнению (7). Относительная скорость охлаждения на глубине равна

$$W_{550} = \frac{d\theta}{d\tau} = \frac{1}{4} \int_0^1 \frac{[2Z^2 - (\tau_{550} + \tau')] d\tau'}{\sqrt{(\tau_{550} + \tau')^5}} \exp \left(-\frac{Z^2}{\tau_{550} + \tau'} \right). \quad (13)$$

Результаты расчетов относительных величин времени $\tau_{8/5}$ и скорости W_{550} в зависимости от максимальной температуры нагрева поверхности T_m при $T_a = 950$ °С и $T_0 = 0$ °С представлены в таблице 3 и на рисунках 7 и 8. Как видно, при любых температурах нагрева поверхность и подповерхностные слои охлаждаются одинаково и, следовательно, для опреде-

ления условий упрочнения всего слоя достаточно рассчитать соответствующие условия для поверхности.

Таблица 3 – Результаты расчетов относительных величин времени $\tau_{8/5}$ и скорости W_{550}

T , °C	τ_{500}	τ_{550}	τ_{800}	в глубине		на поверхности	
				$\tau_{8/5}$	W_{550}	$\tau_{8/5}$	W_{550}
1000	0,5608	0,4004	0,049	0,5118	0,3663	0,5119	0,3663
1100	0,7484	0,5492	0,0913	0,6571	0,2666	0,6568	0,2667
1200	0,9502	0,7093	0,1389	0,8113	0,2014	0,8098	0,2015
1300	1,1675	0,8817	0,1918	0,9757	0,1563	0,9722	0,1565
1400	1,4013	1,0672	0,2500	1,5371	0,1240	1,1446	0,1242
1500	1,6521	1,2665	0,3138	1,3383	0,1001	1,3278	0,1004
1600	1,9205	1,4799	0,3834	1,5371	0,0821	1,5219	0,0824

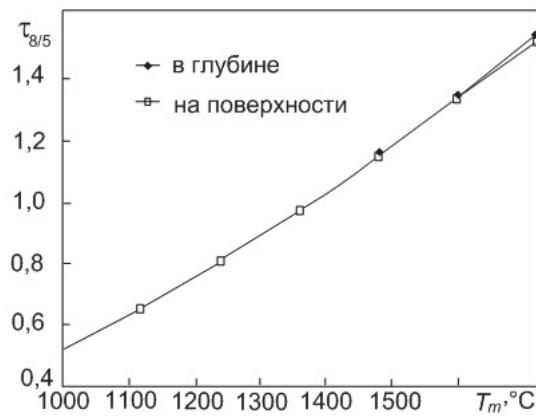


Рисунок 7 – Зависимость относительного времени охлаждения $\tau_{8/5}$ в интервале температур 800-500 °C от максимальной температуры нагрева поверхности T_m

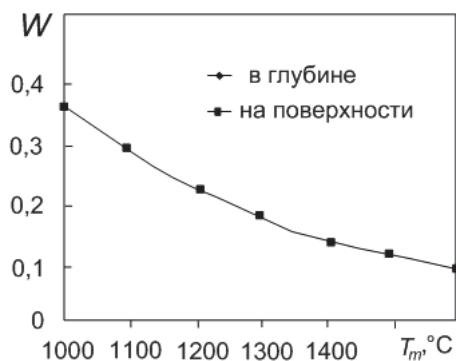


Рисунок 8 – Зависимость относительной скорости охлаждения W при температуре 550 °C от максимальной температуры нагрева поверхности T_m

Таким образом, видно, что упрочнение сталей при термообработке с использованием равномерно распределенных источников нагрева определяется, в основном, двумя параметрами: максимальной температурой T_m и временем нагрева t_0 поверхности, которые в процессе термообработки должны строго контролироваться. Так как $t_0 = d/V$, то для этого необходимо поддерживать неизменными параметры, влияющие на эффективный диаметр источника нагрева d (ток и напряжение дуги), а также постоянную скорость перемещения источника V . Значение d для расчетов необходимо определять экспериментально [13,14] или, если это невозможно, вычислять из комплекса ad , подбирая по литературным данным значение a .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Кузьмина, Г.Д. Дилатометрические характеристики и диаграммы анизотермического распада аустенита колесной стали марки 2 / Г.Д. Кузьмина // Свароч. пр-во. -1997. -№12. -С. 3-5.
- 2 Буйносов, А.П. Повышение ресурса бандажей колесных пар электровозов и электропоездов за счет применения наноматериала / А.П. Буйносов, Д.Ю. Козаков // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2012. -№2. -С. 186-188.
- 3 Буйносов, А.П. Методика прогнозирования ресурса бандажей колесных пар локомотивов / А.П. Буйносов, В.А. Тихонов // Фундаментал. и приклад. проблемы техники и технологии. -2012. -№5. -С. 136-144.
- 4 Буйносов, А.П. Влияние электрического торможения на износ бандажей колесных пар электровозов / А.П. Буйносов, И.О. Шепелева // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№4. -С. 127-129.
- 5 Буйносов, А.П. Определение полного и остаточного ресурса бандажей колесных пар локомотивов на железнодорожном транспорте необщего пользования / А.П. Буйносов // Автоматизация и соврем. технологии. -2013. -№3. -С. 030-035.
- 6 Коротков, В.А. Плазменная закалка сканируемой дугой без оплавления поверхности / В.А. Коротков, О.В. Трошин, А.А. Бердинков // Физика и химия обработки материалов. -1995. -№2. -С. 101-106.
- 7 Плазменное термоупрочнение сталей / А.М. Лыков, В.Т. Почепаев, Ю.Г. Редькин, В.С. Куминов // Физика и химия обработки материалов. -1997. -№3. -С. 27-32.
- 8 Буйносов, А.П. Увеличение ресурса колесных пар электровозов за счет плазменного упрочнения гребней бандажей / А.П. Буйносов, И.О. Шепелева // Науч.-техн. вестн. Поволжья. -2013. -№6. -С. 182-185.
- 9 Домбровский, Ю.М. Кинетика нагрева стали сканируемой воздушно-плазменной дугой / Ю.М. Домбровский // Свароч. пр-во. -1998. -№11. -С. 15-18.
- 10 Домбровский, Ю.М. Обработка стали воздушно-плазменной дугой со сканированием / Ю.М. Домбровский, А.В. Бровер // Металловедение и термич. обработка металлов. -1999. -№1. -С. 10-13.

- 11 Рыкалин, Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов / Н.Н. Рыкалин, А.А. Углов, И.В. Зуев. -М.: Машиностроение, 1985. -496 с.
12 Рыкалин, Н.Н. Основы электронно-лучевой обработки материалов / Н.Н. Рыкалин, И.В. Зуев, А.А. Углов. -М.: Машиностроение, 1978. -239 с.
13 Рыкалин, Н.Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н.Н. Рыкалин. -М.: Машгиз, 1951. -296 с.
14 Шоршоров, М.Х. К оценке эффективного радиуса подвижного нормально-кругового источника на поверхности плоского слоя по ширине зоны проплавления / М.Х. Шоршоров, А.С. Барашков // Свароч. пр-во. -1990. -№2. -С. 40-42.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз, колесная пара, бандаж, упрочнение, нагрев, источник, тепло, процесс, модель

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Буйносов Александр Петрович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

Шепелева Ирина Олеговна, аспирант ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 620034, г.Екатеринбург, ул.Колмогорова, 66, ФГБОУ ВПО «УрГУПС»

ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБУН «Институт лазерной физики» Сибирского отделения РАН

А.О. Токарев, Г.Н. Грачёв, М.Н. Хомяков, А.Ю. Гербер

FORMATION OF STRUCTURE OF THE STEEL SURFACE WITH LASER-PLASMA PROCESSING

Novosibirsk state academy of water transport

Institute of laser physics

A.O. Tokarev, G.N. Grachev, M.N. Khomyakov, A.Yu. Gerber

Results of experiment on the influence of laser-plasma effects on surface structure of 0,4% carbon steel.

Keywords: laser-plasma thermal hardening steel, synthesis of superhard coatings on steel

Представлены результаты эксперимента по влиянию лазерно-плазменного воздействия на строение поверхности конструкционной стали.

Стимулом к активному исследованию и использованию в технологии металлообработки источников энергии высокой концентрации, в частности лазеров, являются новые возможности формирования поверхностной структуры, обеспечивающей повышенные эксплуатационные свойства.

В Институте лазерной физики СО РАН для поверхностного упрочнения сталей и сплавов применяется принцип локального воздействия источника энергии высокой концентрации путём обработки лазерным лучом. В качестве технологического оборудования используется импульсно-периодическая CO₂-лазерная система генератор-усилитель на базе многофункционального лазера ЛОК-ЗМФ (рисунок 1а). Применение для обработки импульсного лазерного излучения средней мощностью около 2 кВт позволяет создавать на поверхности плотность мощности в десятки МВт/см². Повторяющиеся с высокой частотой следования лазерные импульсы зажигают на поверхности металла плазму оптического пульсирующего разряда (ОПР) в потоке рабочего газа (рисунок 1б).

Эффективный обмен энергией высокой концентрации между лазерной плазмой и металлом обеспечивает скорость локального нагрева, достигающую 10⁵-10⁷ град./сек., при этом производительность лазерно-плазменной обработки в 7-10 раз выше по сравнению с традиционной лазерной закалкой. Область фазовых превращений в железоуглеродистых сплавах при этом при этом распространяется на глубину до 1 мм. После прохождения луча нагретый участок оказывается в окружении холодного металла, что приводит к быстрому охлаждению.

Для исследования была выбрана конструкционная сталь 40Х с феррито-перлитной структурой и изготовлены образцы размером 8×60×3 мм. Режимы лазерно-плазменного воздействия были выбраны на основании данных предшествовавших исследований [1-5].

Энергия лазерного импульса составляла около 15 мДж при частоте следования импульсов 60 кГц. Излучение фокусировалось в пятно диаметром 0,8 мм, длительность пика лазерных импульсов на полуысоте составляла 0,2 мкс, таким образом пиковая интенсивность импульса достигала 14 МВт/см². Давление азота в форкамере 2 атм.

Обработка велась со сканированием фокуса лазерного излучения в направлении перпендикулярном линейному перемещению образцов. Частота и амплитуда сканирования составляли 300 Гц и 3 мм соответственно. В результате обработки получены упрочненные ла-

зером дорожки поперек образцов. Режимы обработки различались скоростью линейного перемещения образцов, которая составляла 15, 20 и 25 мм/сек.

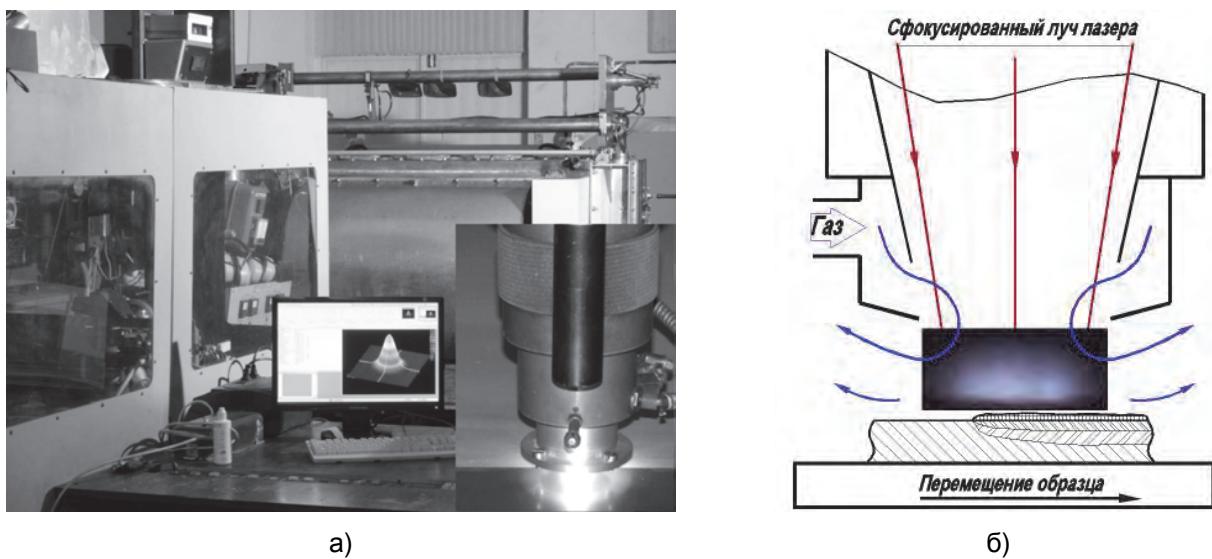


Рисунок 1 – Лазерно-плазменная технологическая установка: а)-внешний вид; б)-схема обработки материалов с наложением фотографии приповерхностной лазерной плазмы

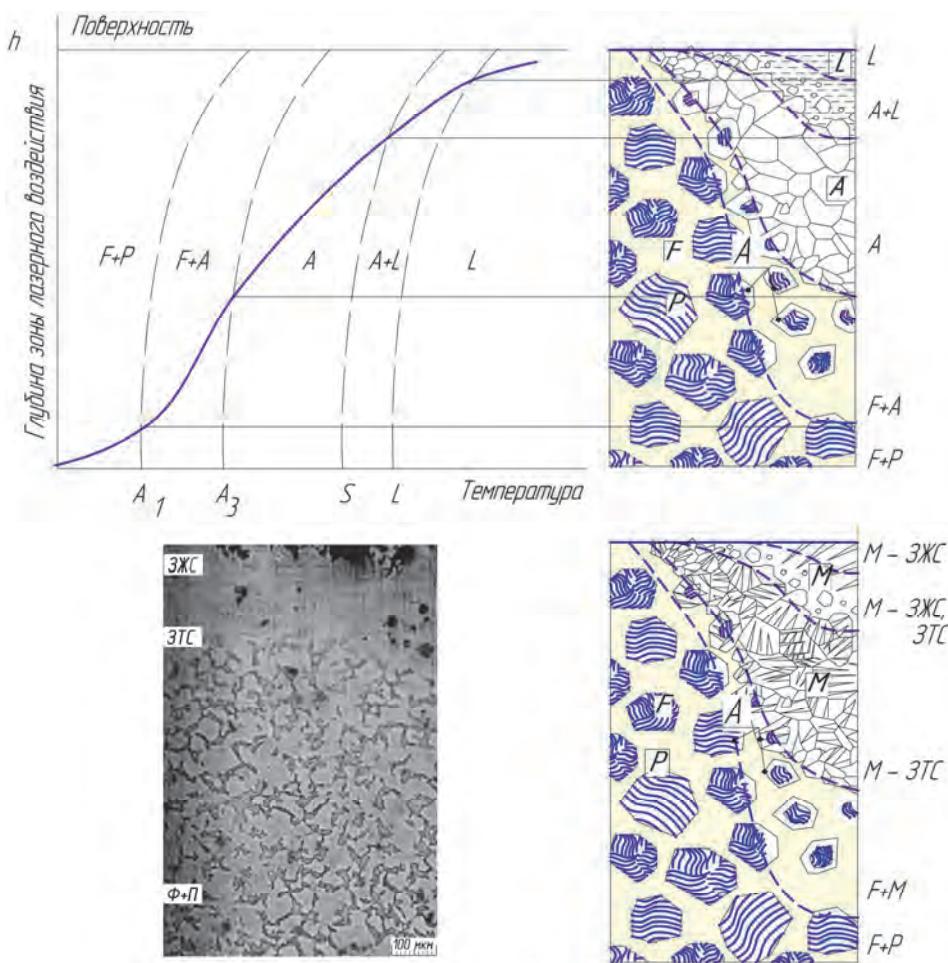


Рисунок 2 – Схема фазовых превращений в доэвтектоидной стали при лазерном воздействии: L-жидкая фаза; A-аустенит; F-феррит; P-перлит; M-мартенсит; ЗЖС-зона закалки из жидкого состояния; ЗТС-зона закалки из твёрдого состояния; Исх-исходная микроструктура

Детальное исследование микроструктуры и твёрдости по глубине зоны лазерно-плазменного воздействия проводилось Кафедрой Технологии металлов и судостроения

НГАВТ. Для этого готовили микрошлифы образцов стали под углом 12° к плоскости обработанной поверхности. Твёрдость измеряли на микротвердомере ПМТ-3.

Структурные превращения в стали при нагреве лазерным лучом определяются градиентом температур. На рисунке 2 схематично представлен процесс структурных превращений в доэвтектоидной стали с феррито-перлитной структурой. На рисунке 3 приведены фотографии микроструктур, полученных в зоне лазерно-плазменного воздействия.

В зоне лазерного влияния образцов, изготовленных из материала в состоянии поставки, при нагреве до температур ниже Ac_1 , фазовых превращений не происходит (рисунок 3а).

В зоне, в которой при нагреве происходит неполное фазовое превращение, образование мартенсита начинается по границам перлитных колоний (рисунок 3б).

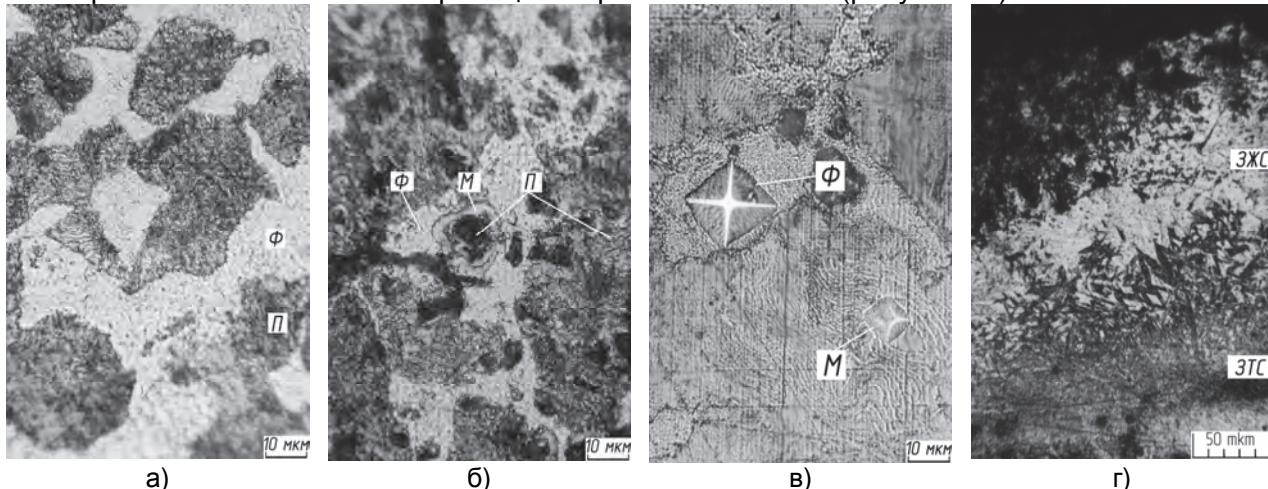


Рисунок 3 – Микроструктура характерных участков зоны лазерного влияния

Следует отметить особенности строения мартенсита, полученного при неравновесных условиях фазовых превращений. При наблюдении в микроскоп эти мартенситные участки, граничащие с ферритом, напоминают строение пластинчатого эвтектоида (смотри фото на рисунке 3в). Идентификация фаз произведена методом измерения микротвёрдости. Аналогичное строение участков мартенсита, образовавшегося при импульсном лазерном воздействии, отмечалось в работе [6] при исследовании фазовых превращений в инструментальной заэвтектоидной стали. Очевидно, что наблюдаемый микрорельеф связан с неполным растворением пластин цементита при фазовом превращении перлита в аустенит в условиях скоростного нагрева.

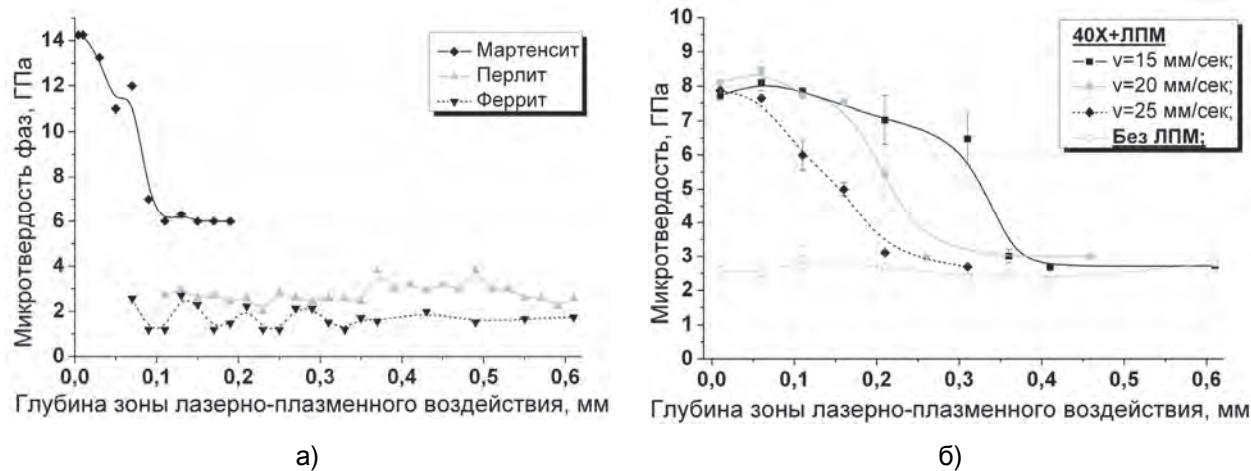


Рисунок 4 – Микротвёрдость структурных составляющих (а) и средняя микротвёрдость стали для различных скоростей обработки (б) по глубине зоны лазерно-плазменного воздействия

Наиболее высокая температура, вызывающая плавление и испарение материала, при лазерной обработке возникает на поверхности обрабатываемых изделий. При последующем охлаждении за счёт интенсивного теплоотвода в холодную сердцевину металла в зоне плавления происходит закалка из жидкого состояния – ЗЖС и образование мартенсита с микротвёрдостью 11,0-13,0 ГПа. К участкам зоны ЗЖС прилегает зона мартенсита, с твёрдо-

стью 6,0-7,0 ГПа, полученного закалкой при охлаждении из твёрдого аустенитного состояния – ЗТС (рисунок 3г).

Распределение структурных составляющих по сечению зоны лазерного воздействия и их твёрдость приведены на рисунке 4а. На рисунке 4б, приведена зависимость микротвердости по глубине зоны лазерного влияния для различных скоростей обработки.

Полученные данные позволяют рекомендовать лазерно-плазменную обработку поверхности в качестве альтернативы химико-термической обработке. Использование источников концентрированной энергии способствует повышению уровня механизации производства и значительно сокращает время производственного процесса, а так же повышает культуру производства.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Применение метода лазерно-плазменной модификации поверхности металлов для улучшения триботехнических характеристик цилиндров двигателей внутреннего сгорания / С.Н. Багаев, Г.Н. Грачёв, А.Л. Смирнов, М.Н. Хомяков, А.О. Токарев, П.Ю. Смирнов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2014. -№1 (62). -С. 14-23.
- 2 Лазерный плазмохимический синтез наноматериалов в скоростных потоках газов, первые результаты и перспективы развития метода / С.Н. Багаев, Г.Н. Грачёв, А.Г. Пономаренко, А.Л. Смирнов, В.Н. Демин, А.В. Окотруб, А.М. Бакланов, А.А. Онищук // Наука и нанотехнологии / СО РАН. -Новосибирск, 2007. -С. 123-135.
- 3 О возможности использования технологии упрочнения поверхности металлов с применением лазерно-плазменной установки для наномодификации поверхностей металлов и синтеза сверхтвердых покрытий / С.Н. Багаев, Г.Н. Грачев, В.Н. Демин, А.Л. Смирнов, П.Ю. Смирнов, Т.П. Смирнова, М.Н. Хомяков // Бюл. ОУС ОАО «РЖД». -2012. -№6. -С. 42-52.
- 4 Исследование формирования структуры рабочей поверхности цилиндров втулок судовых дизелей при лазерной обработке / А.О. Токарев, Л.Д. Макагон, Г.Н. Грачёв, А.Л. Смирнов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2006. -№1. -С. 194-198.
- 5 Токарев, А.О. Улучшение триботехнических характеристик серого чугуна лазерной обработкой / А.О. Токарев // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). -2012. -№1 (54). -С. 69-73.
- 6 Токарев, А.О. Упрочнение деталей машин износостойкими покрытиями / А.О. Токарев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2000. -188 с.

Работа выполнена при поддержке Программы междисциплинарных интеграционных проектов СО РАН (Проект №95 2012-2014 годы) и Программы фундаментальных исследований Президиума РАН № 24 (Проект №24.36).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: лазерно-плазменное термическое упрочнение стали, синтез сверхтвердых покрытий на стали

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Токарев Александр Олегович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Грачёв Геннадий Николаевич, заведующий лабораторией ИЛФ СОРАН
Хомяков Максим Николаевич, инженер ИЛФ СОРАН

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Гербер Артём Юрьевич, студент ФГБОУ ВО «НГАВТ»
630090, г.Новосибирск, пр.Академика Лаврентьева, 13/3, ИЛФ СОРАН
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ САЖИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА ДИЗЕЛЯ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

В.П. Пушнин

MODELING OF SOOT ALTERATION UNDER OF ENGINE EXHAUST VALVE PASS
Novosibirsk state academy of water transport
V.P. Pushnin

The alterations structure of soot under pass the smokes gas of gas-tube boiler through the ring split investigates. The area of split regulates. Bu analogy sizes of complicated chains of soot before the engine exhaust valve opening performance

Keywords: engine soot, structure of soot before the exhaust valve opening

Исследованы изменения структуры сажи при прохождении дымовых газов газотрубного котла через кольцевую щель. Площадь щели регулировалась. По аналогии установлен диапазон размеров разветвленных цепочек сажи перед открытием выпускного клапана дизеля.

В работе [1] было обнаружено, что при прохождении дымовыми газами газотрубного оборотного котла КОАВ 63 резко сужающего сечение происходит наложение сильно разветвленных цепочек с образованием агломератов. Такое преобразование является аналогом происходящего в дизеле при прохождении отработавших газов через кольцевую щель между выпускным клапаном и его седлом. Из конструктивных соотношений, приведенных в [2] нетрудно подсчитать, что у разных дизелей при полном открытии выпускного клапана отношение скоростей газов в щели и на подходе к ней составляет 4–16. Это было исходным

при моделировании.

Определить размеры разветвленных цепочек, образующихся в цилиндре дизеля затруднительно. После выпускного клапана их остается ничтожно мало. Можно наблюдать некоторые из них, вышедшие из цилиндра при наибольшем открытии клапана, но не понятно можно ли по ним определить действительное распределение по размерам этих структурных образований в цилиндре. Напротив, на выходе из котла сажа в основном представлена разветвленными цепочками. Задачами настоящих исследований явились определение размеров разветвленных цепочек, образовавшихся в котле КОАВ 63 и перенесение полученных закономерностей на дизель.

Схема опытной установки с двумя вариантами отбора сажи в разборной камере осаждения представлена на рисунке 1. Высокая для котла концентрация сажи в продуктах сгорания, равная $0,09 \text{ г}/\text{м}^3$ (определялась с использованием фильтра 5) была получена заменой штатного распылителя. Котел работал на дизельном летнем топливе.

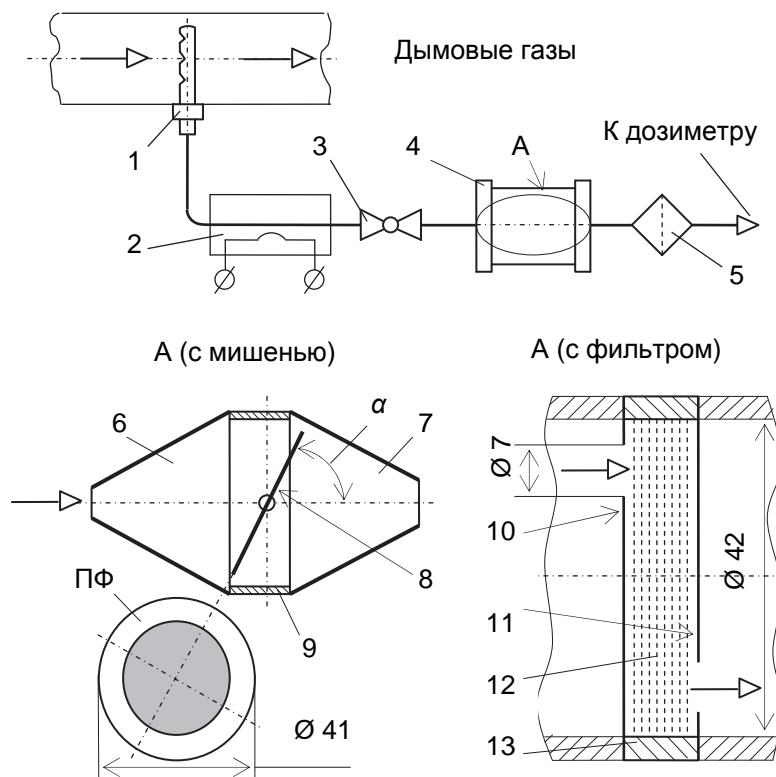


Рисунок 1 – Схема модельной установки с протягиванием части дымовых газов при помощи дозиметра: 1-зонд; 2-противоконденсатный подогреватель; 3-кран; 4-камера осаждения; 5-«абсолютный» фильтр; 6-диффузор; 7-конфузор; 8-мишень с закрепленным препараторофиксатором; 9-корпус мишени; 10-пластина входная; 11-пластина выходная; 12-фильтрующий элемент; 13-обечайка корпуса фильтра; а-угол наклона мишени; ПФ-препараторофиксатор

При испытаниях с мишенью осаждаемые частицы удерживались клейким слоем прозрачной пленки, закрепленной в кольцевой рамке препараторофиксатора. Подготовленные препараты исследовались под микроскопом сравнения МС-51 в проходящем свете при 800-кратном увеличении. Оценка размеров частиц производилась при помощи объектив-микрометра с ценой деления 10 мкм . Угол наклона мишени устанавливался 60 и 70 градусов. При угле $\alpha = 60^\circ$ отношение расчетных скоростей в щели и на подходе к ней составляло $5,7$, а при $\alpha = 70^\circ$ это отношение равнялось 26 .

При угле $\alpha = 60^\circ$ основная часть сажи вместе с потоком газов прошла, огибая мишень. На препараторофиксаторе осели сфероидальные агрегаты сажи или почти сфероидальные (некоторой овальностью в проекции). Кроме того, осела часть сильно разветвленных цепочек. Информация по их размерам представлена на рисунке 2. Здесь же показан вид одной из частиц. Границы частиц были хорошо различимы, а по сочетанию темных линий и просветов между ними можно было заключить, что структура разветвленная. Известно, что цепочки образованы из первичных сферических частиц сажи, размер которых в дизельной са-

же при работе на дизельном топливе согласно [3] варьируется в пределах от 15 до 170 нм. Поэтому при разрешающей способности установленного объектива, равной 450 нм видимое изображение достаточно условно. В действительности структура разветвленных цепочек имеет вид, представленный на этом же рисунке.

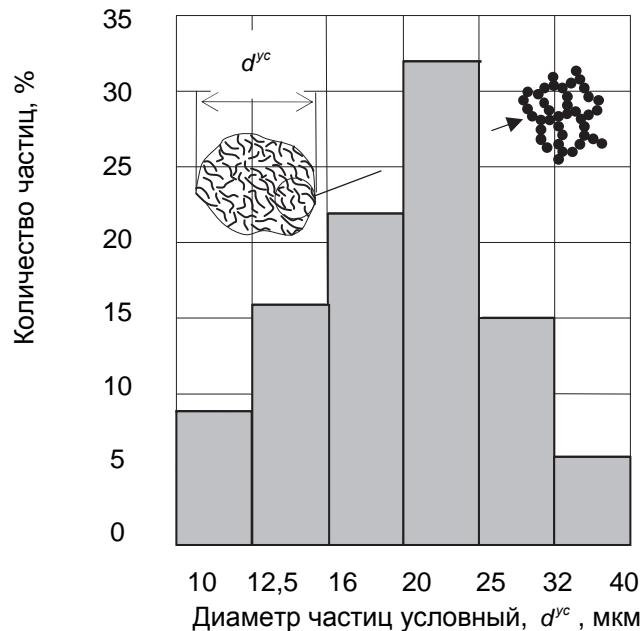


Рисунок 2 – Гистограмма распределения по диаметру разветвленных цепочек сажи дымовых газов котла КОАВ 63, осевших на препараторфиксаторе при угле наклона мишени равном 60°

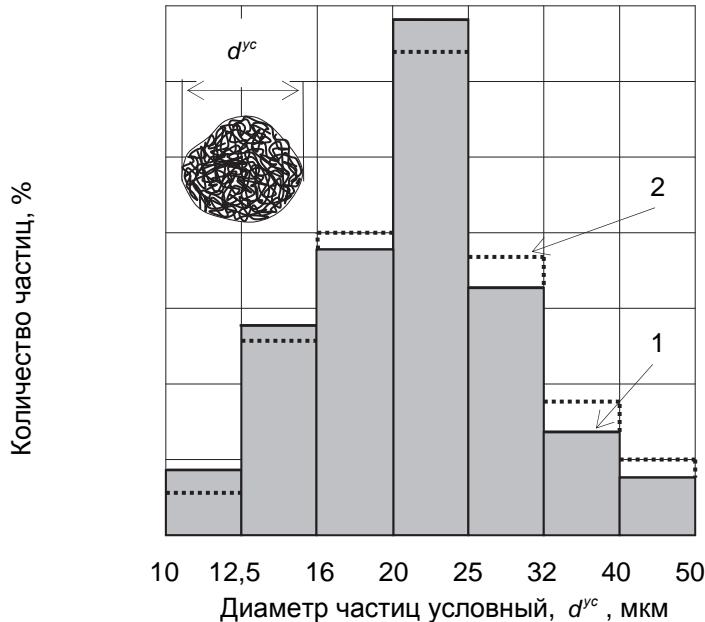


Рисунок 3 – Гистограмма распределения по диаметру агломератов сажи дымовых газов котла КОАВ 63: 1-осевших на препараторфиксаторе при угле наклона мишени равном 70° ; 2-отобранных многослойным фильтром

Испытания при угле $\alpha = 70^\circ$ позволили сделать вывод, что при $\alpha = 60^\circ$ обогнули мишень в основном разветвленные цепочки вторичных структур сажи. В этом случае (при $\alpha = 70^\circ$) на препараторфиксаторе осели главным образом частицы неправильной формы в весьма значительном количестве. Информация по их размерам и вид одной из них представлена на рисунке 3. Под микроскопом частицы смотрелись резко по всей поверхности, следовательно, поверхность была плоской. Это были агломераты, образовавшиеся перед щелью в ре-

зультате наслаждения разветвленных цепочек при резком увеличении скорости потока.

Совместное рассмотрение гистограмм на рисунках 2 и 3 показывает близкое распределение размеров обоих структурных образований. У агломератов немного большее количество более крупных частиц при снижении количества более мелких. При этом средний размер разветвленных цепочек равнялся 20,9 мкм, а агломератов 22,4 мкм. Значит, насылались примерно одинаковые по размеру разветвленные цепочки без сдвига одна относительно другой.

В настоящих исследованиях было принято как очевидное, что разветвленные цепочки, занесенные на препаратофиксатор мишени при угле $\alpha = 60^\circ$, представляют весь диапазон их размеров в саже-газовом потоке. Такие структурные образования всех размеров, имеющие толщину значительно меньшую по сравнению с условным диаметром должны следовать вместе с потоком. Для дополнительной проверки был проведен опыт с практически полным улавливанием сажи после резко сужающего сечения. В этом случае в камере осаждения (рисунок 1) помещался многослойный фильтр из материала с размером пор больше, чем на порядок диаметра агломератов. Слои достаточно плотно поджимались между пластинами с несовпадающими осями отверстий. Отношение расчетных скоростей во входном отверстии пластины и на подходе к ней составляло 36. Сборный фильтр задерживал 99,98% твердой фазы. Это было установлено исходя из количества сажи на «абсолютном» фильтре и предварительно определенной концентрации сажи в продуктах сгорания.

При помощи распыливающе-осаждающего устройства (РОУ), предложенного в [4] сажа осаждалась на препаратофиксаторе в течение времени от пятой по одну тысячу восьмисотую секунду. Исследования под микроскопом сравнения МС-51 в проходящем свете с использованием масляной иммерсии при 1800-кратном увеличении (предельная разрешающая способность установленного объектива составляла 0,22 мкм) показали, что агломератов размером менее 10 мкм до 4 мкм нет. Следовательно, в саже-газовом потоке разветвленных цепочек такого размера не было, а значит, не было и разветвленных цепочек меньшего размера. Наблюдались более мелкие частицы: 2-3 мкм и около 1 мкм. По-видимому, это были осколки агломератов.

При 800-кратном увеличении были определены размеры агломератов, информация по их размерам представлена на рисунке 3. Их средний размер 23,6 мкм. Гистограмма оказалась близкой к полученной при осаждении на препаратофиксаторе мишени.

Образование достаточно больших по условному диаметру разветвленных цепочек сажи можно было ожидать исходя из размеров сфероидальных агрегатов. Действительно, и те и другие образованы из первичных сферических частиц. При этом средний диаметр сфероидального агрегата котельной сажи около 4 мкм [1]. Средний диаметр первичной частицы сажи при работе дизеля на дизельном топливе примерно 40 нм [3]. Несложно подсчитать, что сферический агрегат диаметром $4 \cdot 10^3$ нм при одинаковой плотности эквивалентен по массе 10^6 первичным частицам диаметром 40 нм. Шары такого размера параллельными рядами с одинаковым количеством в ряду могут быть уложены в квадрат со стороной 40 мкм.

Средний диаметр сфероидальных агрегатов дизельной сажи (таблица 1) больше чем котельной (данные получены при осаждении сажи на препаратофиксатор при помощи РОУ в течение времени от пятой по одну тысячу восьмисотую секунду). Означает ли это, что и размер разветвленных цепочек дизельной сажи больше. Для проверки этого соображения были проведены дополнительные исследования, результаты которых представлены в таблице 2. Средний условный диаметр разветвленных цепочек дизельной сажи составил 27,4 мкм, то есть оказался действительно несколько больше.

Таблица 1 – Сведения по отбору сажи и средний арифметический диаметр d_a^{cp} сфероидальных агрегатов дизельной сажи

Дизель	Вид топлива	Сажесодержание газов, г/м ³	Способ отбора сажи	d_a^{cp} , мкм
148,5/11	Моторное ДМ	1,0-1,1	мультициклоном	5,61
	Моторное ДТ			6,06
248,5/11	Дизельное летнее	0,15	из полости пустотелой пробки	5,71

Проведенные исследования с моделированием прохождения сажей выпускного клапана дизеля созданием препятствия на пути частичного отбора дымовых газов котла подтвердили допустимость такой аналогии. При этом получены следующие основные результаты:

Таблица 2 – Осредненное по трем сажам (см. таблицу 1) распределение по условному диаметру разветвленных цепочек дизельной сажи

Фракция по диаметрам, мкм	12,5–16	16–20	20–25	25–32	32–40	40–50
Количество частиц, %	12	16	20	20	20	12

– сажа в цилиндре перед открытием выпускного клапана дизеля, как и сажа на выходе из котла в основном представлена структурным образованием в виде разветвленных цепочек;

– словный диаметр таких образований от 10 до 40 мкм в котле и от 12,5 до 50 мкм в дизеле, при этом их средний диаметр 20,9 и 27,4 мкм соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Пушнин, В.П. Отбор агрегатов вторичных структур сажи / В.П. Пушнин // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. науч. центр «Ноосфер. знания и технологии» Рос. акад. естеств. наук; Новосиб. гос. акад. вод. трансп. -Новосибирск, 2005. -Вып. VIII. -С. 72-76.

2 Двигатели внутреннего горения. Конструкция и расчет поршневых и комбинированных двигателей / А. с. Орлин [и др.]. -М.: Машиностроение, 1972. - 464 с.

3 Мачульский, Ф.Ф. Дисперсность и структура дизельной сажи / Ф.Ф. Мачульский // Токсичность двигателей внутреннего горения и пути ее снижения: симпозиум. - М., 1966. -С. 206-219.

4 Пушнин, В.П. Структура и энергия агрегатов дизельной сажи в потоке отработавших газов / В.П. Пушнин // Двигателестроение. - 2009. - №4. -С. 31-35.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: дизельная сажа, структура сажи перед открытием выпускного клапана

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Пушнин Валерий Петрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

КОГЕНЕРАТИВНЫЕ УСТАНОВКИ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Ю.О. Астапова, К.С. Шульга, А.А. Бубенчиков

COGENERATION PLANTS

Omsk state technical university
Ju.O. Astapova, K.S. Shulga, A.A. Bubenchikov

This article describes the installation of cogeneration, their main advantages and disadvantages, and will bring them into the feasibility of energy.

Keywords: cogeneration, cogeneration installation

Рассмотрены когенеративные установки, их основные достоинства и недостатки, также приведена целесообразность их применения в энергетике.

В настоящее время в мире наблюдается увеличение производства и потребления энергии. Даже учитывая переход на энергосберегающие технологии, потребности в тепловой и электроэнергии увеличиваются. Поэтому широкое распространение получили экологичные и экономически эффективные когенераторы.

Когенерация – совместный процесс производства электрической и тепловой энергии внутри одного устройства — когенерационной установки (КГУ), мини ТЭЦ [1].

Когенерационные установки бывают трёх видов:

1 Основанные на работе газопоршневого двигателя.

2 Работающие на основе паровых турбин.

3 Дизельные установки.

Наиболее эффективными и экономически выгодными являются газопоршневые установки[2].

Основные преимущества газотурбинных установок над турбинными и дизельными:

– Более высокий КПД.

– Большая устойчивость к изменениям давления и температуры.

– Ввод в работу осуществляется за минимальное время-пару минут.

– Неограниченное количество запусков.

– Долгий срок службы.

– Минимальные затраты при проведении ремонта.

– Минимальные затраты на топливо.

– Более экологичны (выделяют в атмосферу в 2 раза меньше углекислого газа и других

вредных веществ).

В зависимости от вырабатываемой электрической мощности, когенерационные электростанции разделяют на следующие группы:

- микро (мощность от 1 до 250 кВт);
- мини (мощность от 250 до 1000 кВт) и малые (мощность от 1 до 60 МВт);
- средние (мощность от 60 до 300 МВт);
- большие (мощность более 300 МВт).

Газопоршневая установка состоит из газового двигателя, генератора, системы отбора тепла и системы управления [3].

Электрическая энергия вырабатывается генератором, ротор которого вращает первичный привод. Тепловую энергию получают путем утилизации тепловых потерь первичного приводного двигателя – газопоршневого, газовой турбины, дизеля. Текущий отбирается из системы охлаждения двигателя, масляного радиатора и системы выхлопа (рисунок 1).

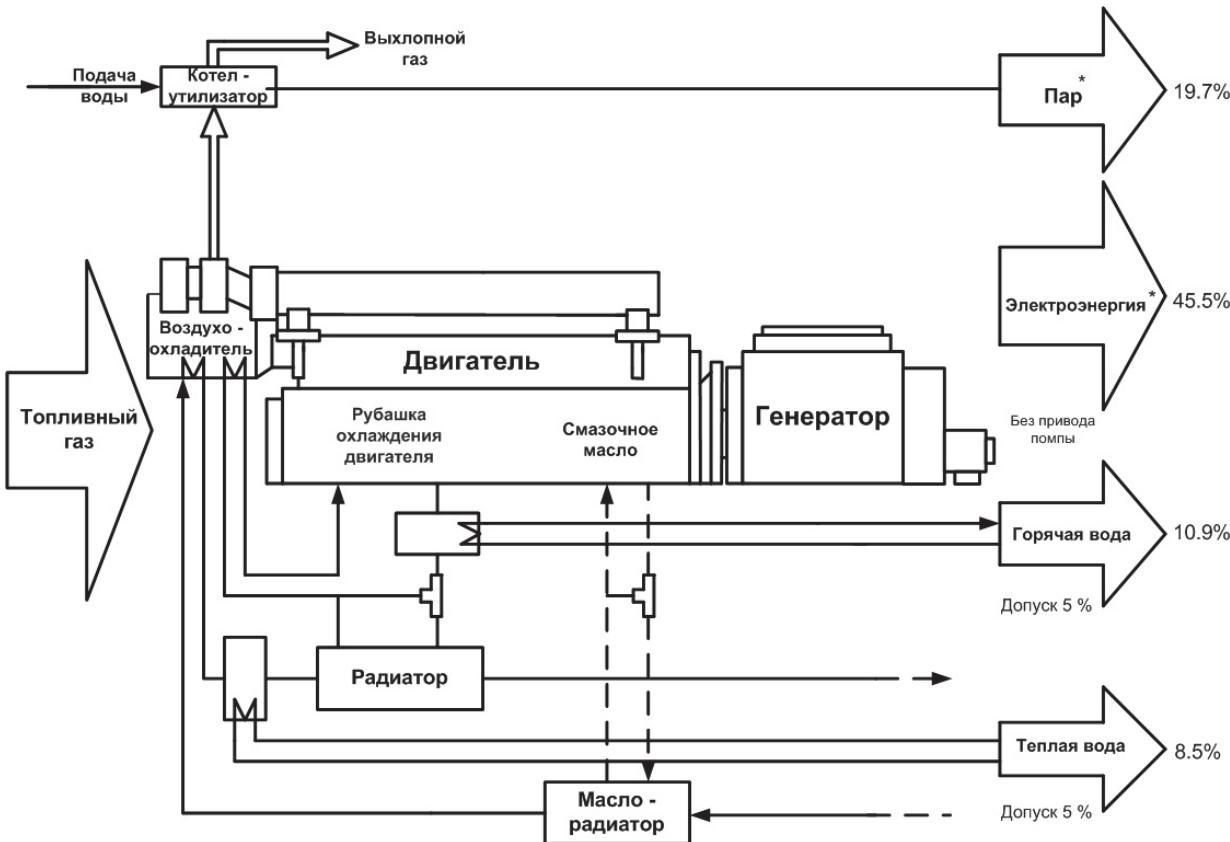


Рисунок 1 – Схема работы когенерационной установки

Электрическая и тепловая энергия вырабатывается в соотношении 1:1,2.

Существуют тригенерационные установки, состоящие из когенератора и абсорбционной охладительной машины.

Тригенерация – это комбинированное производство электричества, тепла и холода. Абсорбционная холодильная машина вырабатывает холода, потребляя тепловую энергию (рисунок 2). С точки зрения энергосбережения тригенерация является эффективной, так как позволяет использовать утилизированное тепло не только зимой для отопления, но и для кондиционирования летом. Также когенерацию используют для технологических нужд (для охлаждения и хранения продукции).

У современных когенерационных установок на базе газопоршневых двигателей коэффициент использования теплоты сгорания топлива достигает 85-90% и только 10% теряются [1]. При выработке энергии в когенерационной установке экономия топлива достигает 40% по сравнению с раздельным производством того же количества электрической и тепловой энергии.

Сравнение энергетических потоков при раздельной и комбинированной выработке энергии (когенерация) выглядит следующим образом (данные приведены в условных единицах топлива) [1] (рисунок 3).

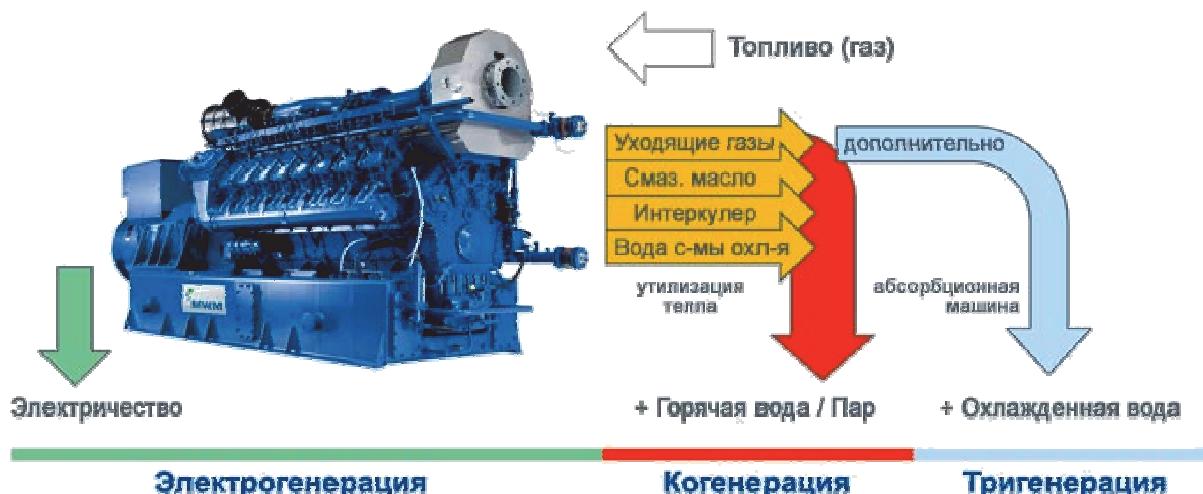


Рисунок 2 – Принцип тригенерации

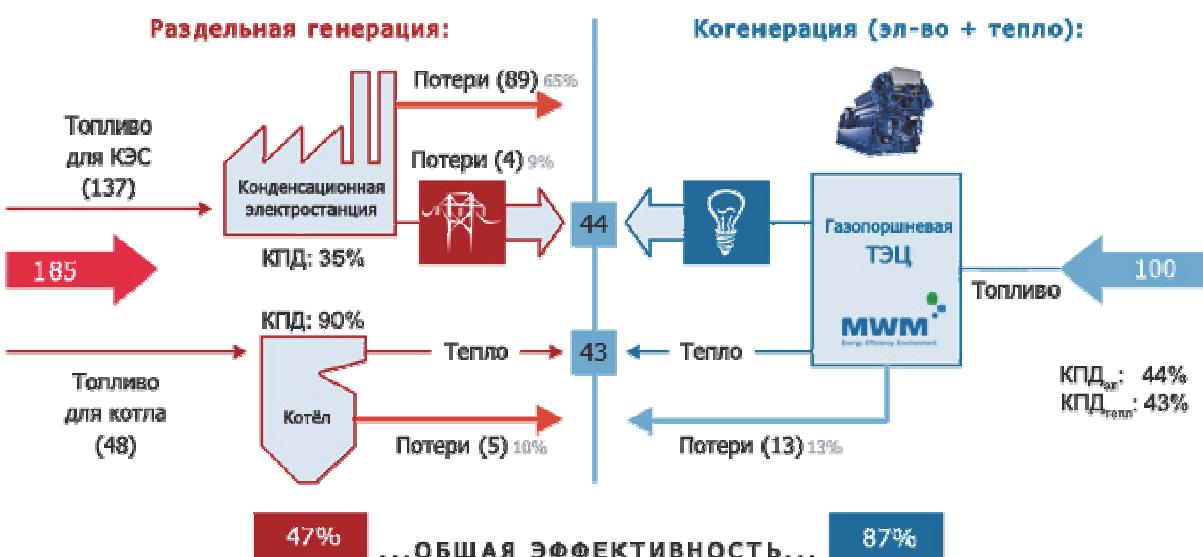


Рисунок 3 – Сравнение энергетических потоков при раздельной и комбинированной выработке энергии

Благодаря высокоточным системам управления, основанных на достижении микропроцессорной техники и компьютерных технологий, стало возможным секционирование (пакетирование) когенераторов. С помощью пакетирования стало возможным построение больших когенераторных установок. Секционирование повышает надежность установок, так как при выходе из строя одной из секций установка теряет только часть мощности, а оставшиеся секции продолжают вырабатывать электрическую и тепловую энергию.

Для электроснабжения жилых массивов, в которых отсутствуют промышленные потребители, применение пакетированных когенераторов особенно эффективно, так как в ночные времена низкое потребление электричества, а излишки продавать нельзя.

Преимущества когенераторов:

- Малые потери при передаче электрической и тепловой энергии;
- Автономность функционирования (независимость от централизованной энергосистемы);
- Надежность энергоснабжения;
- Низкая себестоимость тепловой и электрической энергии;
- Экологичность производства энергии;
- Эффективное использование энергетических ресурсов (на 20-30% эффективнее, чем оборудование, вырабатывающее один вид энергии);
- Высокая маневренность установок;
- Позволяют решить острый вопрос неравномерного суточного потребления электро-

энергии;

– Возможность продажи излишков выработки электрической энергии.

Недостатки:

– Максимальная мощность одной установки 3 МВт;

– Когенератор вырабатывает электрическую и тепловую энергию в отношении 1:1,2, как правило, объект потребляет только часть электрической энергии и всю тепловую. наблюдаются излишки электрической энергии, которые не используются (в некоторых странах эти излишки разрешено продавать в сеть).

– В некоторых странах, в том числе в России, не разрешено продавать излишки электрической энергии;

– Необходима надежная поставка дешевого топлива.

Максимальный эффект от применения когенерации достигается в том случае, если имеется возможность оптимально использовать оба вида энергии. Тогда можно добиться экономии топлива на выработку полезной энергии до 60%.

На сегодняшний день лидерами по использованию когенерационных установок являются Европейские страны. В среднем около 11% энергии в Евросоюзе вырабатывается в режиме когенерации [4].

В России есть необходимость в применении когенерационных установок, так как в стране низкое качество централизованного энергоснабжения и высокие тарифы на электрическую и тепловую энергию. Использование когенераторов позволит решить проблему пиковых нагрузок, обеспечить потребителя бесперебойным энергоснабжением и снизить цены на электричество и тепло.

У когенерационных установок много преимуществ, но ряд недостатков не позволяет их активно использовать в России. Для распространения этих установок в нашей стране необходимо решить проблему излишков электроэнергии.

Существуют два пути решения этой проблемы:

1 Нужно разработать программу для открытия каналов сбыта излишков энергии другим потребителям, так как энергоснабжающие компании не разрешают сторонним компаниям продавать электрическую энергию.

2 Разработать когенераторы, которые смогли бы вырабатывать электрическую и тепловую энергию в другом соотношении и позволяли регулировать это соотношение.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Combined Heat and Power. Evaluating the benefits of greater global investment / IEA Publications. -2008.

2 Панкив, В. Когенерация: как это работает. Обзор рынка / В. Панкив / Сети и бизнес. -2010. -№4 (53).

3 Гольдинер, А.Я. Газопоршневые электроагрегаты / А.Я. Гольдинер, М.И. Цыркин, В.В. Бондаренко. -СПб.: Галерея Принт, 2006 -240 с.

4 Бахарева, А. Когенерация как забытое старое [Электронный ресурс] / А. Бахарева / Независимая газ. -Режим доступа: <http://www.ng.ru/>.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: когенерация, когенеративные установки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Астапова Юлия Олеговна, студент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Шульга Кирилл Сергеевич, студент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Бубенчиков Антон Анатольевич, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

СРАВНЕНИЕ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ПРИМЕРЕ ДВЕНАДЦАТИЗОННОЙ ОБМОТКИ И ОБМОТКИ ДАЛАНДЕРА

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Г.А. Шаншурев, А.Ю. Будникова

COMPARISON OF THE WINDING OF AC MACHINES ON THE EXAMPLE OF TWELVE ZONE WINDING AND DAHLANDER'S WINDING

Novosibirsk state technical university

G.A. Shanshurov, A.Yu. Budnikova

Matrix method performed research of new windings with changeable number of poles for motors of mechanisms with a busy work mode: hoisting-and-transport installations, construction and agricultural machines. Their electromagnetic properties are presented. Comparison of new windings with two-layered windings with changeable number of poles is given.

Keywords: windings with changeable number of poles, two-high-speed asynchronous engine, matrix description

Матричным методом выполнено исследование новых полюсопереключаемых обмоток для двигателей механизмов с напряженным режимом работы: подъемно-транспортные установки, строительные и сельскохозяйственные машины. Приведены их электромагнитные свойства. Дано их сравнение с двухслойными полюсопереключаемыми обмотками.

Многоскоростные асинхронные двигатели с изменяющимся числом полюсов относятся к двигателям специального исполнения. Они находят применение в приводах насосов, центрифуг, вентиляторов, строительных и подъемно-транспортных механизмов, механизмов по переработке сельхозпродукции и т.п.

Асинхронные двигатели с изменяющимся числом полюсов выпускаются серийно [1], но при этом схемы полюсопереключаемых обмоток (ППО) постоянно совершенствуются [2].

Обмотка электрической машины переменного тока, выполняемая m -фазной, с величиной фазной зоны

$$\alpha = 360/(nm), \text{град.},$$

где n – число фазных зон [1, 2]:

– $n=1$ – однозонная обмотка на фазу (при числе фаз $m=3$ обмотку называют 120°-зональной, или трехзонной) при $Q=Z/(pm)$;

– $n=2$ – двухзонная обмотка на фазу (при числе фаз $m=3$ обмотку называют 60°-зональной, или шестизонной) при $q=Z/(2pm)$.

Фазную зону α образуют расположенные в соседних пазах стороны катушек одной катушечной группы, занимающие Q (для однозонной обмотки) или q (для двухзонной обмотки) зубцовых делений. Обмотка с зоной 60 эл. градусов выгоднее, так как меди на 15% меньше.

ППО изменяет величину фазной зоны α при переключении на другое число полюсов. Двухслойные обмотка по «схеме Даландера» ($m=3$) [1], изменяет фазную зону с шестизонной ($n=2$) на трехзонную ($n=1$).

Описание исследуемой обмотки. Двенадцатизонная ППО [4] ($n=4$) может быть выполнена однослойной и двухслойной с числом пазов на полюс равным

$$q = \frac{Z}{4pm}.$$

На базе этой обмотки можно построить ППО с удвоенным числом полюсов с требуемым законом изменения мощности и момента, как и для обмоток по «схеме Даландера».

При этом переход на низшую частоту вращения по схеме двенадцатизонной ППО приводит к изменению величины фазной зоны обмотки на шестизонную ($n=2$).

Обмотку по «схеме Даландера» широко используют для двухскоростных двигателей благодаря её соответствуию требованиям, предъявляемым к ППО [2, 6]: высокое использование, высокие фильтрующие свойства, симметрия фаз, идентичность параллельных ветвей.

Выбор ППО по «схемы Даландера» в качестве базисной для оценки качества двенадцатизонной ППО обеспечивает и качество проводимых сравнений.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Критерии оценки качества ППО и асинхронных двигателей на их основе связаны с основной функцией обмотки – генерировать рабочее магнитное поле [3].

Развитие критериев для оценки качества ППО на этапе проектирования нашло отражение в работах [4, 5], в основе которых лежит приём представления структуры обмотки и электромагнитных процессов, связанных с ней, в виде численных матриц:

- структуры $\|C_p\|$ - строчная матрица исследуемой обмотки

$$\begin{aligned} & 1 \|C_p\|_{\phi 1} \\ & \|C_p\| = 2 \|C_p\|_{\phi 2}, \\ & 3 \|C_p\|_{\phi 3} \end{aligned}$$

где $\|C_p\|_{\phi m}$ – матрица фазы и $m = 1, 2, 3$ (рисунок 1-4);

– звезд пазовых ЭДС – $\|E_{npv}\|$; $\exp[j\nu_i(Z_i - 1)\alpha_0]$ -элементы столбцевой матрицы звезды пазовых ЭДС;

- токового слоя фаз

$$U_{nm} I_m \|I_{\phi Z_i}\|_m = U_{nm} I_m \operatorname{Re} \left\{ \exp \left[j(\omega t + \alpha_{\phi m}) \right] \right\} \|C_p\|_{\phi m},$$

и обмотки в целом

$$U_{nm} I_m \|I_{OZ_i}\| = U_{nm} I_m \left\{ \operatorname{Re} \cdot \exp^{j(\omega t + \alpha_H)} \|C_O\| \right\},$$

где

$$\|C_O\| = \exp^{j\alpha 1} \|C_p\|_{\phi 1} + \exp^{j\alpha 2} \|C_p\|_{\phi 2} + \exp^{j\alpha 3} \|C_p\|_{\phi 3}$$

U_{nm} – базовое число проводников в пазу;

– намагничивающих сил фаз $\|F_{\phi m}\|$ и обмотки в целом $\|F_O\|$, определяемых соответственно токовыми слоями по выражениям

$$f_{mi} = f_{m(i-1)} + a_{mZ_i} \text{ и } (f_{mi})_O = \left(f_{m(i-1)} + a_{O m Z_i} \right)_O,$$

где $a_{mZ_i}, a_{O m Z_i}$ – значение элемента матрицы токового слоя;

- диаграммы Гёргиса [5].

Z/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1					-1	-1				-1	-1						1	1				
2			1	1					1	1					-1	-1					-1	-1		
3					-1	-1					1	1					1	1				-1	-1	

Рисунок 1 – Матрица однослоиной двенадцатизонной обмотки $2p = 2$, схемы включения YY [2]

Z/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1					-1	-1				1	1					-1	-1					
2			-1	-1					1	1				-1	-1					1	1			
3					1	1					-1	-1					1	1				-1	-1	

Рисунок 2 – Матрица однослоиной шестизонной обмотки $2p = 4$, схемы включения Δ [2]

Z/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	1	1					-1	-1				1	1					-1	-1					
2			-1	-1					1	1				-1	-1					1	1			
3					1	1					-1	-1					1	1				-1	-1	

Рисунок 3 – Численная матрица двухслойной обмотки $2p = 2$, схемы включения YY («Даландера»)

Z/m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1			1	1	1	1			-1	-1	-1	-1	1	1	1	1				-1	-1	-1	-1	
2	1	1			-1	-1	-1	-1		1	1	1	1			-1	1	-1	-1		1	1	1	1
3	-1	-1	-1	-1		1	1	1	1		1	1	1	1			-1	-1	-1	1	1	1	1	

Рисунок 4 – Численная матрица двухслойной обмотки $2p = 4$, схемы включения Δ («Даландера»)

Интегральным коэффициентом оценки качества и фильтрующих свойств обмоток может служить коэффициент использования [3-5]

$$K_{\text{исп}} = K_{\text{обнраб}} K_{\text{зп}} K_{\nu}. \quad (1)$$

Структура обмотки учитывается коэффициентом использования меди

$$K_{зп} = K_{мл} K_{зп1} K_{зп2}; \quad (2)$$

– в лобовых частях

$$K_{мл} = \frac{L_{cp1}}{L_{cp2}} = \frac{L_{n1} + L_{l1}}{L_{n2} + L_{l2}}, \quad (3)$$

где L_{n1}, L_{n2} – длина витка в пазовой;

L_{l1}, L_{l2} – в лобовой части обмотки сравниваемых вариантов;

– заполнения пазов медью при различном числе витков в пазах

$$K_{зп1} = \sum_z \frac{|a_{mi}|}{Z a_{mimax}}; \quad (4)$$

– заполнения пазов медью в зависимости от соотношения пазовой изоляции и меди $K_{зп2}$.

Коэффициент использования определяется обмоточным коэффициентами для рабочей гармоники $K_{об\cdot раб}$ и коэффициентом работоспособности

$$K_{p\nu} = \frac{1}{1 + K_{Д\nu раб}}, \quad (5)$$

где $K_{Д\nu раб}$ – коэффициент дифференциального рассеяния, учитывающие наличие субгармоник магнитного поля

$$K_{Д\nu раб} = \sum_{\nu=1}^{\nu_{max}} \left(\frac{\nu_{раб} K_{об\nu}}{\nu K_{об\nu раб}} \right)^2. \quad (6)$$

Предложенные коэффициенты $K_{p\nu}, K_{Д\nu раб}$ носят более общий характер, чем аналогичные коэффициенты эффективности для обмоток не содержащих субгармоник магнитного поля [4-6]

$$K_{p\nu} = K_{и} = K_{об1} (1 - \lambda_{Д}), \quad (7)$$

$$\text{где } \lambda_{Д} = \sum_{\nu=1}^{\nu_{max}} \left(\frac{K_{об\nu}}{\nu K_{об1}} \right)^2.$$

Обмоточные коэффициенты $K_{об\nu}$ определяются отношением

$$K_{об\nu} = \frac{\text{mod} \left\{ \left\| C_p \right\|_{\phi m} \left\| E_{p\nu} \right\| \right\}}{\sum_{i=1}^{Z_0} |a_{mi}|}. \quad (8)$$

При сравнении ППО различного исполнения оценкой качества может служить характер изменения электромагнитного момента (коэффициент K_M) и полезной мощности (коэффициент K_P) [4, 5].

При изменении числа полюсов изменяется не только круговая частота вращения ω магнитного поля, но и индукция в воздушном зазоре электрической машины B_b , напряжение на фазе U_ϕ и ЭДС, определяющая магнитный поток Φ_m и индукцию B_b , эффективное число витков в исследуемом контуре $W_\phi K_{об1}$, величина полюсного деления $\tau = \pi D/2p$ и допустимая линейная нагрузка обмотки A (в среднем увеличивается примерно на 10% с увеличением частоты вращения на одну ступень [4]). Перечисленные величины определяют электромагнитный момент $M_{эм}$ и мощность $P_{эм}$ двигателя с используемыми обмотками в рабочем режиме

$$M_{эм} = C_{эм} B_b A \text{ и } P_{эм} = M_{эм} \omega,$$

и их отношение может характеризовать использование активного объема преобразователя по моменту

$$K_M = \frac{U_\phi^* (1 - \lambda_{Д})^*}{2 W_\phi^* K_{об1}^*}, \quad (9)$$

и мощности при изменении числа полюсов обмотки

$$K_P = \frac{p_6}{p} K_M , \quad (10)$$

где U_ϕ^* , $(1 - \lambda_D)^*$, W_ϕ^* , K_{061}^* – относительные значения.

Базисные значения коэффициентов определяются базисной обмоткой (полюсностью p_6).

Матричный анализ эффективности обмоток [5] проведён с использованием программного продукта EXCEL «Матричная модель обмоток машин переменного тока» (рисунок 5).

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1																	
2	alpha0,	Число пар	Число	Номер	Число												
3	зл.град	полюсов	пазов	гармоники	проводников в												
4	15	1	24	1	12												
5	Длина	Угол в															
6	вектора	пространстве															
7	э.д.с.(фа)																
8	7,419294	-18,39339465															
9	Фаза2																
10	7,419294	-138,3933946															
11	Фаза3																
12	7,419294	101,6066054															
13	Угол сдвига осей фаз																
14	120																
15	-120																
16	-240																
17	Обмоточный коэф-т																
18	Коб.	0,618274498															
19	sumA1	7,040															
20	sumB1	-2,341081377															
21	sumA2	-5,548															
22	sumB2	-4,926503336															
23	sumA3	-1,493															
	sumB3	7,267584714															

Рисунок 5 – Фрагменты рабочего листа программы

Расчеты по выражениям (1)-(10), позволяющим выполнить большой объём вычислений (см. рисунок 1-4), сведены в таблицу 1.

Таблица 1 - Результаты анализа ППО при разном числе полюсов ($Z = 24$)

№ п/п	Схема	Число полюсов	K_{061} на U_ϕ/U_n	λ_D	K_i	K_M	K_P
Двухслойная обмотка «Даландера»							
1	$\Delta/\Delta Y_a = 2$	4Δ	0,836/0,836	0,0185	0,82	0,73	1,46
	$2^2 Y_a = 2$		0,677/0,586	0,0025	0,675		
Однослойная обмотка [4]							
2	$\Delta/\Delta Y_a = 2$	4Δ	0,966/0,966	0,0294	0,938	0,842	1,685
	$2^2 Y_a = 2$		0,701/0,607	0,0348	0,677		

Выводы:

– Двенадцатизонная обмотка ($n = 4$) имеет меньший шаг, длину витка лобовой части и величину вылета лобовой части меньше $p_6 = 1$. При этом уменьшается объёма меди ППО, а также уменьшается активное и индуктивное сопротивление фаз, обусловленные лобовыми частями обмоток.

– Упрощается технология укладки обмотки с меньшим шагом особенно при выполнении однослойной.

– Матричный анализ показал, что двенадцатизонная обмотка [2] не уступает по критериям качества двухслойной обмотке по «схеме Даландера» [1] с аналогичной схемой включения фаз.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Асинхронные двигатели серии 4А: справочник / А.Э. Кривчик, М.М. Шлаф, В.И. Афонин, Е.А. Соболенская. -М.: Энергоиздат, 1982. -504 с.

2 Пат. 140530 Российская Федерация, МКИ7 Н 02 К 3/28, 17/14. Обмотка электрической машины переменного тока / Шаншуров Г.А. №2010126826; опубл. 20.11.2010, Бюл. №32; приоритет 30.06.10. -4 с.

3 Попов, Д.А. Критерии оценки полюсопереключаемых статорных обмоток трёхфазных многоскоростных асинхронных

двигателей / Д.А. Попов, С.Д. Попов // Электричество. -1997. -№ 9. -С. 44-52.

4 Шаншурев, Г.А. Оценка качества обмоток машин переменного тока на стадии проектирования / Г.А. Шаншурев // Изв. высш. учеб. заведений. Электромеханика. -2013. -№ 6. -С. 9-13.

5 Шаншурев, Г.А. Матричная модель обмоток машин переменного тока: учеб. пособие / Г.А. Шаншурев, А.В. Червяков. - Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2013. -82 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: полюсопереключаемая обмотка, двухскоростной асинхронный двигатель, матричное описание

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Шаншурев Георгий Алексеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Будникова Анастасия Юрьевна, магистрант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЛАСТЬ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЙ

ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова»

И.А. Поляков

INFLUENCE OF EXTERNAL ACTIVE POWER OVERFLOWS ON ADMISSIBLE OPERATING MODES AREA OF CONTROLLED SECTIONS

Altai state technical university named I.I.Polzunova
I.A. Polyakov

This article is the assessment of need of the control of active power overflows for external relations of power systems.

Keywords: grid, sections, stability

Дана оценка необходимости учета перетоков активной мощности во внешних связях энергосистем.

Для ЕЭС России характерно наличие протяженных электрических связей, соединяющих между собой отдельные энергетические районы. Географическая удаленность энергетических районов друг от друга, различная структура и соотношение их нагрузки и генерации обусловливают наличие системных перетоков мощности между частями ЕЭС. При этом очевидно, что такой обмен мощностью влияет на режим работы шунтирующих электрических связей.

Для качественной оценки влияния внешних перетоков мощности на режим работы энергорайонов рассмотрена модель энергосистемы (рисунок 1), имеющей ключевую особенность – наличие в составе энергорайона электрических связей, потокораспределение по которым может изменяться в зависимости от загрузки сети вне энергорайона при неизменном перетоке активной мощности в рассматриваемый энергорайон.

Модель состоит из группы с балансирующим узлом (Восток), моделирующих правую часть энергосистемы, группы узлов с нагрузкой и генерацией (Запад), моделирующих левую часть энергосистемы и узел «Энергорайон» с питающей ПС 500 кВ, имеющий свою нагрузку и генерацию. Энергорайон полностью входит в состав рассматриваемого контролируемого сечения «Энергорайон».

В данной модели имеется 2 узла с генерацией и нагрузкой, определяющих режим работы энергосистемы – Запад и Энергорайон. Режим работы базового узла Восток (значения P и Q) полностью определяется нагрузками и генерацией в узлах Запад и Энергорайон. При этом разность между нагрузкой и генерацией в этих узлах есть переток активной мощности в соответствующих сечениях. Так, разность величины нагрузки и генерации для Энергорайона есть переток активной мощности в сечении «Энергорайон», для Запада – переток активной

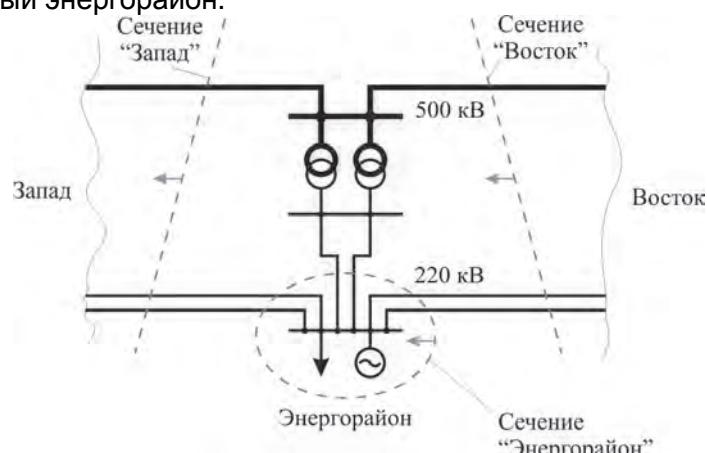


Рисунок 1 – Модель энергосистемы

мощности в сечении «Запад».

Если к величине перетока активной мощности в сечении «Запад» добавить величину перетока активной мощности в сечении «Энергорайон» и потери активной мощности в электрической сети, то получим переток активной мощности в сечении «Восток».

Таким образом, режим работы энергосистемы можно описать перетоками активной мощности по двум сечениям, например, «Энергорайон» и «Запад».

Для описанной выше модели были произведены расчеты токовой загрузки сетевого элемента – ВЛ Восток-Энергорайон I цепь. Расчеты производились для нормальной (полной) и ремонтной (отключена II цепь ВЛ) схем при изменении величин перетоков активной мощности в сечениях «Энергорайон» и «Запад» в диапазонах от -1000 до +1000 МВт для каждого сечения. В качестве допустимых режимов работы рассматривались режимы без перегрузки сетевых элементов (ВЛ) по току [1].

При проведении расчетов был выставлен широкий диапазон регулирования по реактивной мощности в узлах генерации, позволяющий принять напряжение в

этих узлах как фиксированное. Расчетные значения генерации реактивной мощности в этом случае характеризуют границы диапазонов регулирования, необходимых для поддержания требуемых уровней напряжения в энергорайонах при различных величинах и направлениях перетоков активной мощности в контролируемых сечениях в нормальной и ремонтных схемах.

Результаты расчетов представлены на рисунке 2. В ремонтной схеме наблюдается увеличение токовой загрузки ВЛ I цепи при отключенной II цепи относительно токовой загрузки ВЛ I цепи в нормальной схеме. Если отсечь часть поверхности плоскостью, соответствующей выбранному току по ВЛ (плоскость, перпендикулярная вертикальной оси), то проекция оставшейся части поверхности на горизонтальную плоскость будет представлять собой допустимую область режимов по току рассматриваемой ВЛ. На рисунке 3 представлены проекции частей поверхностей токовой загрузки для нормальной и ремонтной схемы при фиксированной величине токового ограничения 300 А.

Из рисунка 3 видно, что при работе энергосистемы на границе допустимых режимов (точка 1) в случае рассматриваемого отключения ВЛ II цепи фактический режим выходит за допустимую область, что соответствует перегрузке ВЛ. Для ввода в допустимую область (снятия перегрузки) по кратчайшему пути в данном случае необходимо воздействие на перетоки активной мощности в сечении «Энергорайон» (отрезок 1-2) и сечении «Запад» (отрезок 3-2). В этом случае режим вводится в допустимую область без перегрузки ВЛ (точка 2).

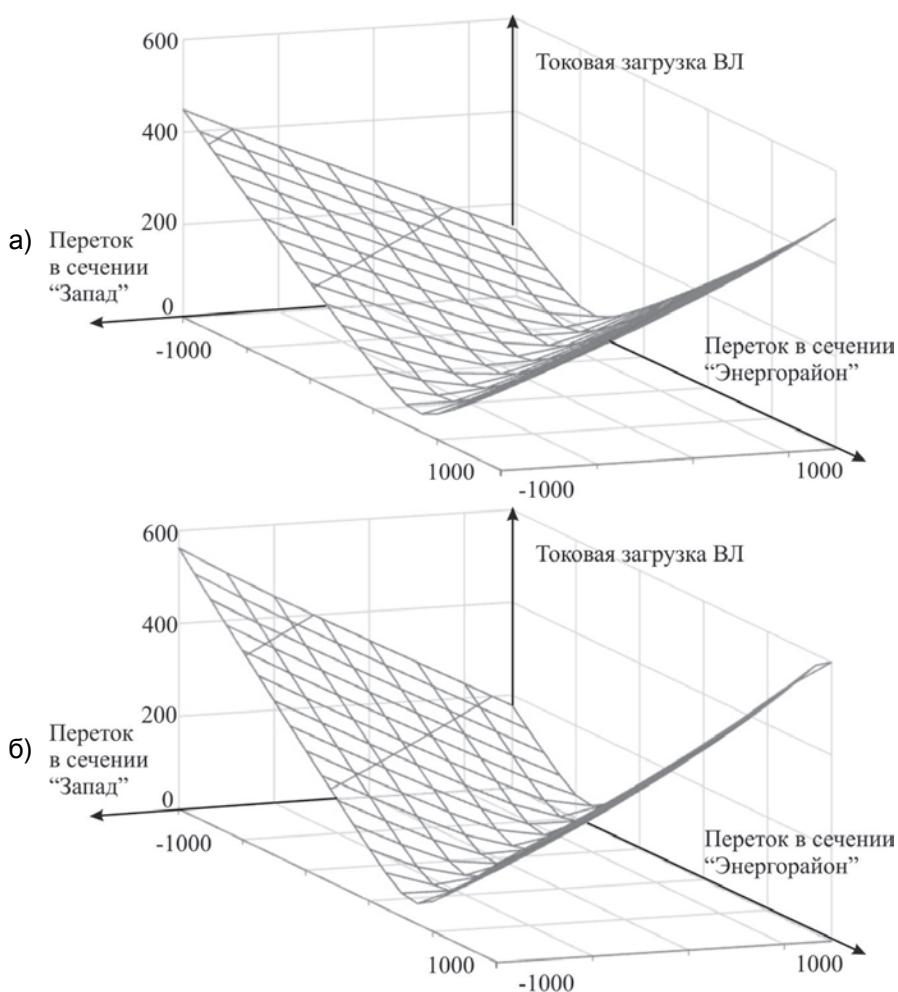


Рисунок 2 – Загрузка ВЛ Восток-Энергорайон I цепь в зависимости от перетоков активной мощности в сечениях «Энергорайон» и «Запад»: а)-нормальная (полная) схема; б)-ремонтная схема

Также из рисунка 3 видно, что при фиксированном перетоке в сечении «Энергорайон» в зависимости от величины и направления внешних перетоков (сечение «Запад») фактический режим может как попадать в допустимую область, так и выходить за её пределы.

Близость к границе допустимых режимов определяет необходимые объемы воздействия для ввода в допустимую область в случае изменения режима при возмущении. При этом, как показано выше, необходимый объем управляющих воздействий при прочих равных условиях при одной и той же величине перетока активной мощности в сечении «Энергорайон» различен и должен быть изменен в зависимости от величины внешних перетоков.

Таким образом, необходим учет величины и направления перетоков активной мощности во внешней сети при определении допустимых перетоков активной мощности в контролируемых сечениях, содержащих шунтирующие внешнюю сеть элементы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по устойчивости энергосистем: утв. приказом Минэнерго России от 30 июня 2003 г. № 277.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:

энергосистема, сечения, устойчивость

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Поляков Иван Александрович, аспирант ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 656038, г.Барнаул, пр.Ленина, 46, ФГБОУ ВПО «АлтГТУ им. И.И. Ползунова»

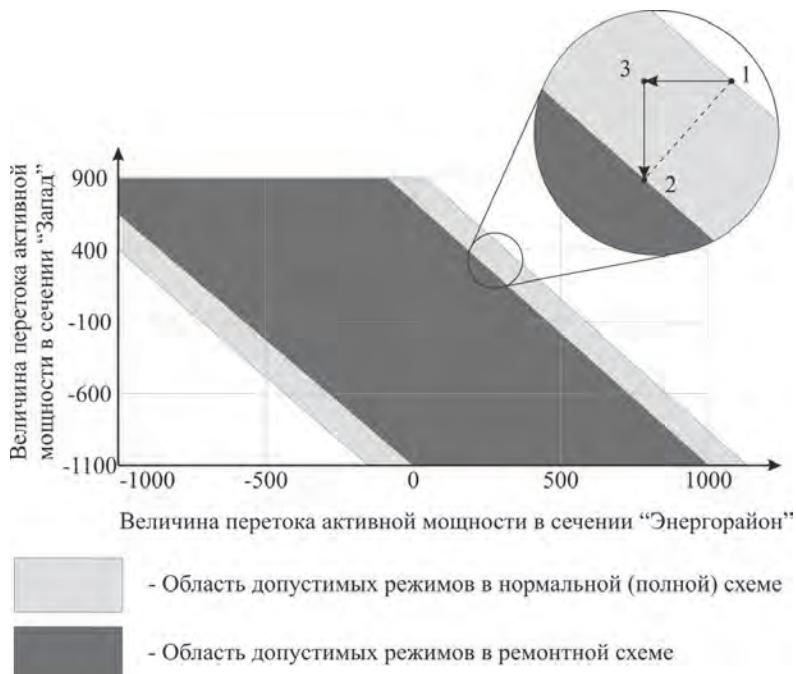


Рисунок 3 – Область допустимых режимов по току ВЛ
Восток-Энергорайон

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКА СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ДВУХСКОРОСТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

О.П. Муравлёв, Н.А. Шпет

PREDICTION OF OPERATIONAL RELIABILITY AND DIAGNOSTICS OF STATOR WINDINGS OF A TWO-SPEED INDUCTION MOTORS

National research Tomsk polytechnic university
O.P. Muravlev, N.A. Shpet

An algorithm for carrying out maintenance and repairs on the current state of the object based on the prediction and diagnosis is represented. The periodicity of maintenance of the elevator stator windings of motors and parameters to be monitored during technical diagnosis are defined.

Keywords: induction motor, stator windings, passenger elevator, reliability prediction, diagnostic

Представлен алгоритм проведения технического обслуживания и ремонта по текущему состоянию эксплуатируемого объекта, основанный на прогнозировании и диагностике. Определена периодичность текущего ремонта статорных обмоток лифтовых асинхронных двигателей и параметры подлежащие контролю при технической диагностике.

Двухскоростные асинхронные двигатели (АД) получили широкое применение в основном приводе пассажирских лифтов благодаря своей простоте, экономичности и отсутствии требований к непрерывному регулированию частоты вращения. Как и любые другие электрические машины, они проектируются на длительный срок функционирования, но по причине различных скрытых дефектов и недостатков эксплуатации могут выходить из строя значительно раньше. В 15,6% случаев простой лифтов вызывают именно отказы АД [1]. По-

вышения надежности лифтовых АД при снижении эксплуатационных расходов можно достичнуть прогнозируя и диагностируя их техническое состояние. Осуществление прогнозирования позволяет:

- сократить время восстановления двигателей путем выявления узлов работоспособность которых существенно изменится в последующий период эксплуатации и подготовки запасных узлов;
- планировать сроки проведения и объемы ремонтно-восстановительных работ АД;
- ограничить количество обслуживающего персонала в связи с определением состояния двигателей на некоторый период времени вперед.

Кроме того совместное использование прогнозирования и диагностики дает возможность проведения наиболее перспективного технического обслуживания и ремонта (ТО и Р) лифтовых двигателей по их текущему состоянию, алгоритм которого приведен на рисунке 1.

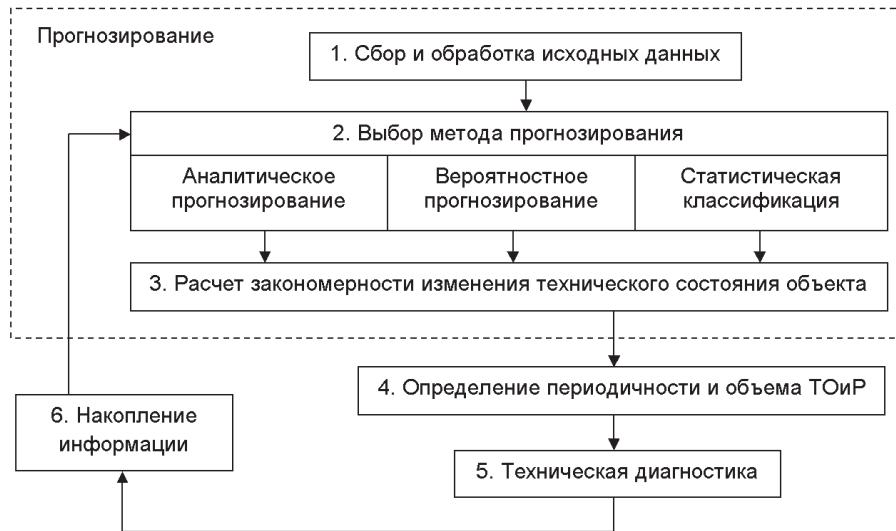


Рисунок 1 – Алгоритм проведения технического обслуживания и ремонта по текущему состоянию эксплуатируемого объекта

Более подробное описание выше представленного алгоритма проведем на примере исследования надежности статорных обмоток лифтовых АД. Актуальность данных исследований заключается в невозможности устранения отказов обмоток статора в машинном помещении, а транспортирование двигателя на ремонтный участок, влечет за собой существенные затраты времени и средств.

Итак, первый этап представляет собой сбор и обработку исходных данных. Для этого путем изучения записей об эксплуатации 446 тихоходных пассажирских лифтов грузоподъемностью до 400 кг, установленных в период с 1986-2011 гг. в жилых домах этажностью от 5 до 17 были собраны сведения об отказах и ремонтах обмоток статора. Изоляционные материалы и пропиточный состав обмоток класса нагревостойкости «F». В каждую из обмоток встроены датчики температурной защиты с температурой срабатывания 145 °C. Кроме того АД эксплуатируются при одинаковых условиях, указанных в руководстве по эксплуатации [2]. На основе информации об отказах статорных обмоток собранной на протяжении трех лет был сформирован массив, представляющий собой последовательность наработок, то есть времени полезного функционирования и времени перерывов.

Следующим этапом необходимо провести выбор метода прогнозирования, который в основном определяется требуемой точностью и существующей информацией об объекте исследования. Прогнозирование может осуществляться различными методами, которые разделяются в основном на три группы: методы аналитического прогнозирования; методы вероятностного прогнозирования и статистическая классификация [3]. В нашем случае особого внимания заслуживает метод вероятностного прогнозирования, из-за отсутствия какой-либо информации об обмотках лифтовых двигателей, кроме значений наработок до отказа либо до цензурирования, представляющих собой случайные независящие друг от друга величины.

С целью удобства обработки массива, полученного на первом этапе и учетом выбранного метода прогнозирования на втором этапе, в редакторе MATHCAD разработана про-

ограмма «Оценка эксплуатационной надежности технических устройств по цензурированным данным», основанная на встроенных функциях статистического и вероятностного анализа [4]. Программа предназначена для оценки эксплуатационной надежности любых технических устройств по информации об отказах, поступившей в процессе работы в виде цензурированных данных.

Программа обеспечивает выполнение следующих функций:

- построение гистограмм эмпирического распределения наработок;
- расчет параметров моделей надежности (экспоненциальной, Вейбула, нормальной, логарифмически-нормальной);
- построение теоретических зависимостей моделей надежности;
- расчет математического ожидания и коэффициентов вариации;
- выбор модели надежности с помощью коэффициента корреляции между эмпирическим и теоретическим распределением наработок.

Массив наработок обмоток статора разбит на пять групп, в зависимости от периода установки АД в лифты, каждая из которых рассмотрена в программе независимо друг от друга. Объединенные результаты расчета представлены на рисунке 2.

Вычисления показывают, что явно выраженный период приработки T_1 обмоток лифтовых АД длится около двух лет. Это связано со скрытыми дефектами, допущенными на стадиях разработки и изготовления, а также с особым режимом нагружения, который характеризуется большим количеством циклов работы и массой перевозимого груза при заселении новостройки. На рисунке 2 зависимостью 1 представлена вероятность безотказной работы (ВБР) уменьшающаяся по закону Вейбула

$$P(t) = \exp[-\alpha t^\beta],$$

где α – параметр определяющий масштаб, $\alpha = 0,00024$;

β – параметр асимметрии, $\beta = 0,7$.

Благодаря срабатыванию датчиков температурной защиты отказы первого периода в дальнейшем не влияют на надежность обмоток АД. Вызывая простой лифтов датчики сохраняют обмотку в исправном состоянии, поэтому в начале нормального периода работы T_2 можно принять $P = 1$. Такой период характеризуется экспоненциальной моделью надежности (кривая 2 на рисунке 2), имеющей только внезапные отказы

$$P(t) = \exp(-\lambda t),$$

где λ – интенсивность отказов, $\lambda = 0,0000051 \text{ ч}^{-1}$.

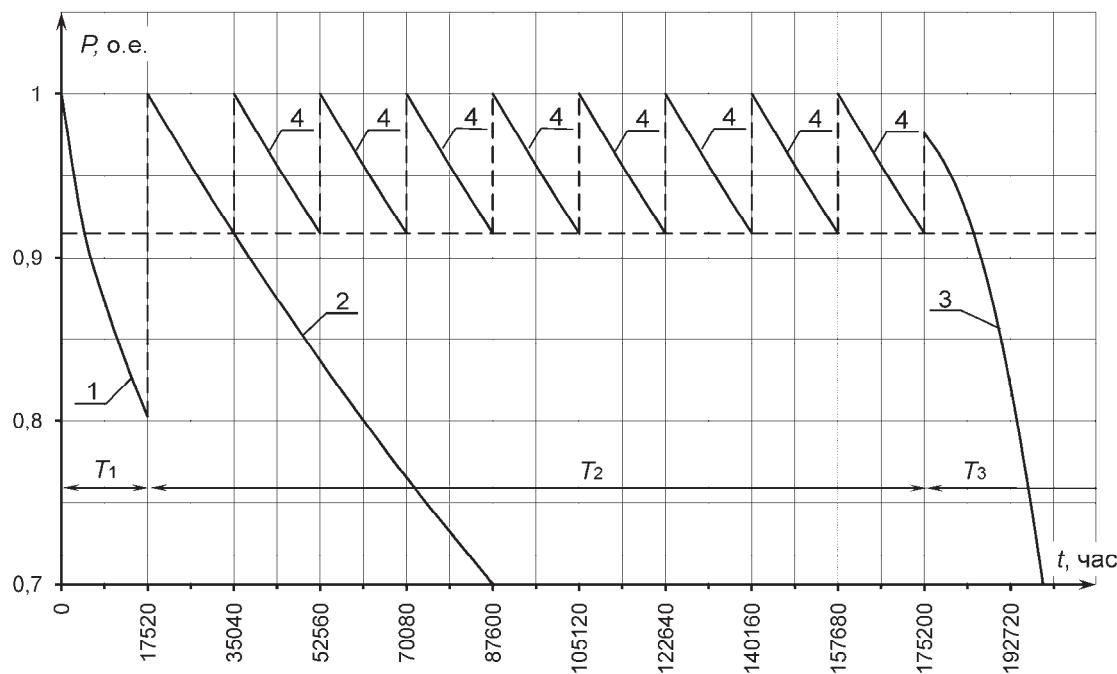


Рисунок 2 – ВБР статорных обмоток лифтовых АД

При эксплуатации любых электрических машин, в том числе и лифтовых двигателей,

приходится сталкиваться с процессами старения элементов обмотки статора, что наглядно показывает ВБР (период T_3) после 20 лет эксплуатации АД (кривая 3 на рисунке 2), подчиняющаяся нормальному закону распределения

$$P(t) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_0^{\infty} \exp\left[\left(-\frac{t-\mu^2}{2\sigma^2}\right)\right] dt,$$

где σ – среднеквадратическое отклонение, $\sigma = 16597$;

μ – математическое ожидание, $\mu = 32771$.

Таким образом, зная дату установки АД в лифте и используя приведенные зависимости можно ориентировочно определить техническое состояние обмотки статора.

Для определения оптимальной периодичности и объема ТО и Р кроме закономерности изменения технического состояния необходимо также знание допустимого значения ВБР. Так как в технических условиях на лифтовые АД обычно устанавливается $P = 0,9$, на рисунке 2 (кривые 4) приведен пример текущего ремонта при снижении ВБР до 0,91, что происходит через два года работы двигателей.

При текущем ремонте обмотки статора необходимо проверять: состояние изоляции; крепление лобовых частей; состояние стали; прочность посадки пазовых клиньев; сопротивление изоляции обмоток относительно друг друга и корпуса; сопротивление изоляции датчиков температурной защиты.

Неисправности, обнаруженные во время текущего ремонта, устраняются путем закрепления обмотки, локального ремонта ее изоляции и, при необходимости, сушкой статора АД. Демонтаж статора, являющийся необходимым при сушке его изоляции, приводит к простою лифта. Однако, данная мера оправдывается повышением надежности двигателя практически до первоначального уровня.

При достижении наработки примерно 175 тыс. ч восстановление технического состояния обмотки статора до $P = 1$ становится невозможным. На этом периоде необходим более тщательный контроль технического состояния и капитальный ремонт обмотки при достижении $P = 0,2$, что принимается в качестве предельного состояния.

Эффективность прогнозирования существенно возрастет, если между установленными текущими ремонтами проводить плановое техническое обслуживание с использованием средств диагностики. Возникает возможность связать контролируемые параметры АД и ВБР в некоторый дискретный момент времени.

Параметром характеризующим техническое состояние обмотки статора лифтовых двигателей, имеющим связь с их наработкой и являющимся приемлемым при техническом обслуживании и текущем ремонте является электрическое сопротивление изоляции. Допустимый уровень электрического сопротивления изоляции в холодном состоянии при нормальных климатических условиях указывается в технических условиях на конкретный тип АД. На этапе капитального ремонта при контроле качества изоляции целесообразно использовать электрическую прочность, определяемую пробивным напряжением.

Еще одним параметром, который необходимо контролировать на протяжении всей эксплуатации АД является уровень вибрации. Техническое состояние обмотки статора нельзя напрямую связать с вибрацией двигателя, так как она возникает в следствии механических факторов (дисбаланс ротора, дефекты подшипников и др.), но повышенная вибрация ухудшает свойства изоляции обмотки статора, вызывая в ней микротрешины и увеличивая этим электропроводность. Диагностика двигателей вносит свои корректиры в периодичность и объем ТО и Р.

В процессе эксплуатации АД для лифтов постепенно появляется информация о времени наработки, отказах, условиях эксплуатации, текущих и капитальных ремонтах, техническом обслуживании, результатах измерения контролируемых параметров. Поэтому завершающим этапом и одновременно возвращающим в начало алгоритма проведения технического обслуживания и ремонта по текущему состоянию является этап накопления информации, основываясь на которой можно осуществить более точное прогнозирование.

Итак, резюмируя можно отметить следующее:

1 Представлен алгоритм проведения технического обслуживания и ремонта по текущему состоянию эксплуатируемого объекта, основанный на прогнозировании и диагностике, а также позволяющий снизить эксплуатационные расходы и количество отказов.

2 Применение вышеупомянутого алгоритма дало возможность установить необходимые

мость проведения текущего ремонта статорных обмоток лифтовых АД не реже одного раза в два года в течение нормального периода эксплуатации, а также определить начало периода интенсивного старения их изоляции. К параметрам подлежащим контролю при технической диагностике статорных обмоток отнесены (электрическое сопротивление изоляции и уровень вибрации).

З Исследования проведенные в области надежности статорных обмоток лифтовых АД в дальнейшем будут использованы в качестве рекомендаций при разработке системы технического обслуживания и ремонта двигателей в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Шпет, Н.А. Исследование отказов пассажирских лифтов по данным эксплуатации / Н.А. Шпет, О.П. Муравлев // Изв. Томск. политехн. ун-та. -2013. -№4. -С. 123-125.

2 Лифт пассажирский: РЭ 0601.00.00.000. -М.: Щербинск. лифтостроит. з-д, 2010. -176 с.

3 Мозгалевский, А.В. Техническая диагностика: учеб. пособие для вузов / А.В. Мозгалевский, Д.В. Гаскаров. -М.: Высш. шк., 1975.

4 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2014618241 от 13.08.2014 / Н.А. Шпет, О.П. Муравлев.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный двигатель, обмотки статора, пассажирский лифт, прогнозирование надежности, диагностика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Муравлëв Олег Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
Шпет Наталья Анатольевна, аспирант ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Красноярский институт железнодорожного транспорта, филиал ФГБОУ ВПО «Иркутский государственный университет путей сообщения»

В.П. Довгун, И.А. Сташков

POWER QUALITY ANALYSIS ON ALTERNATING CURRENT TRACTION SYSTEMS

Krasnoyarsk institute of railway transport, branch Irkutsk state university of means of communication

V.P. Dovgun, I.A. Stashkov

Problems of reactive power compensation and voltage harmonic mitigation in traction electric supply system are considered. Computer simulation has shown that frequency characteristic of the traction electric supply system has a resonance maximum between 800 Hz and 1000 Hz. Technical specifications for compensation systems installed in AC traction systems are formulated. Different variants of filtering and compensation systems for traction systems are considered. It is shown that the best solution is a compensation system located at the end of section.

Keywords: power quality, railway traction system, passive power filters

Рассмотрены вопросы компенсации реактивной мощности и ослабления высших гармоник напряжения и тока в сетях тягового электроснабжения (СТЭ) с помощью пассивных фильтрокомпенсирующих устройств (ФКУ). Анализ показал, что частотные характеристики СТЭ имеют резонансные максимумы в диапазоне 800-1000 Гц. Сформулированы требования к ФКУ, устанавливаемым в тяговой сети. Рассмотрены различные варианты установки ФКУ в системе тягового электроснабжения. Показано, что эффективное подавление гармоник напряжения и тока достигается при установке ФКУ на посту секционирования.

На электрифицированных железных дорогах используется система тягового электроснабжения (СТЭ) однофазного переменного тока напряжением 25 кВ. Тяговые подстанции (ТП) присоединяются к питающей сети на расстоянии 40-60 км друг от друга. На локомотивах установлены двигатели постоянного тока, получающие питание от однофазных схем выпрямления. Средняя мощность тяговой нагрузки составляет 4-8 МВт, максимальная – 15-20 МВт [1]. Серьезной проблемой СТЭ является несинусоидальность токов, потребляемых однофазными выпрямителями. Они вызывают искажения напряжения на токоприемниках электроподвижного состава (ЭПС). Следствием искажений формы напряжений и токов являются гармонические перенапряжения, низкая величина среднего напряжения.

Исследуем частотные характеристики системы тягового электроснабжения и проведем анализ их влияния на качество электроэнергии в тяговой сети.

В общем случае связь между токами и напряжениями контактной сети описывается

уравнениями в частных производных [2]. Для упрощения анализа используем конечно-элементную модель длинной линии в форме каскадного соединения П-образных четырехполюсных секций (рисунок 1). Каждая секция соответствует участку сети длиной 10 км.

При проведении моделирования были приняты следующие условия: марка троса ПБСМ-95, контактный провод МФ-100, тип рельса Р75.

Трансформатор представлен параллельной схемой замещения L_2-R_2 . Это позволяет учесть зависимость активного сопротивления обмотки от частоты, вызванного поверхностным эффектом. Резонансные частоты СТЭ находятся в диапазоне 1-3 кГц, и на этих частотах емкости обмоток трансформатора не оказывают заметного влияния на частотные характеристики.

Моделирование показало, что разбиение на участки длиной 10 км обеспечивает удовлетворительное совпадение с экспериментальными результатами, приведенными в работах [3-5]. Разбиение на участки меньшей длины усложняет схему замещения и увеличивает расчетное время, однако не приводит к заметному увеличению точности моделирования.

Для моделирования характеристик СТЭ использовалась программа схемотехнического моделирования Pspice. Старшие версии Pspice представляют вычислительную среду, предназначенную для моделирования электрических цепей в частотной и временной областях.

Анализ частотных характеристик СТЭ проводился с помощью режима AC_SWEEP. В качестве источника синусоидального сигнала использовался источник тока амплитудой 1 В. В этом случае значения напряжений в узлах схемы замещения равны входным и передаточным сопротивлениям сети. Можно моделировать различные варианты положения ЭПС в зоне питания, изменяя места подключения источника.

На рисунке 2 приведены графики частотных характеристик модуля входного сопротивления сети для случаев, когда длина линии составляет 30 и 40 км.

Анализ частотных характеристик системы тягового электроснабжения показывает, что ЧХ имеют резонансные максимумы, расположение и амплитуда которых зависят от нескольких факторов. Основными факторами являются протяженность участка сети, расположение локомотива в зоне питания, а также параметры тяговых трансформаторов. Значение входного сопротивления СТЭ составляет 2-2,5 кОм. Частота резонансного максимума уменьшается с ростом протяженности участка. При этом происходит усиление гармоник напряжения и тока меньшего порядка, имеющих большую амплитуду. Наибольшее значение сопротивление тяговой сети имеет в случае, когда локомотив находится в конце участка.

В работе [3] отмечается, что одной из причин аварий в системах тягового электроснабжения являются резонансные (режимные) перенапряжения на токоприемнике ЭПС. Они обусловлены резонансными явлениями на частотах, определяемых параметрами СТЭ. Если частота гармоники совпадает с частотой резонанса, происходит усиление амплитуды этой гармоники. Это вызывает значительные искажения кривой напряжения.

На рисунке 3 показана кривая напряжения на токоприемнике электровоза, находящегося в конце участка длиной 30 км.

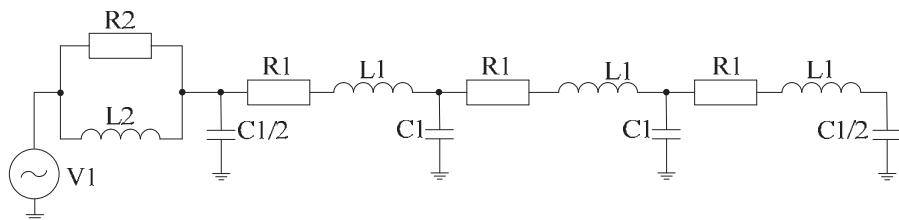


Рисунок 1 – Схема замещения системы тягового электроснабжения: $R_0 = 0,124 \Omega/\text{км}$; $L_0 = 0,955 \text{ мГн}/\text{км}$; $C_0 = 0,029 \mu\text{Ф}/\text{км}$; $L_2 = 27 \text{ мГн}$

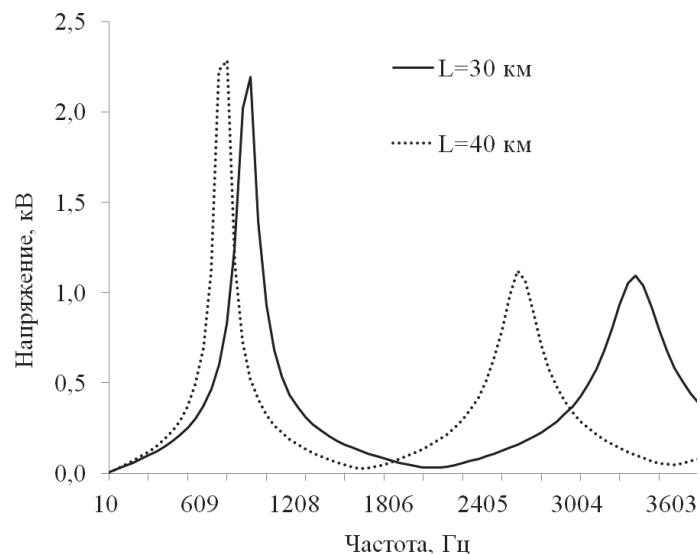


Рисунок 2 – Частотные характеристики сопротивления сети

Анализ спектра искаженной кривой напряжения на токоприемнике ЭПС показал, что она представляет наложение синусоидальной кривой с частотой 50 Гц и осциллирующих высокочастотных составляющих. Преобладающими являются низкочастотные гармоники, а также гармоники, частоты которых близки к частоте резонансного максимума.

Резонансные перенапряжения могут в несколько раз превышать амплитуду рабочего синусоидального напряжения. Особенно сильные искажения напряжения наблюдаются на токоприемниках электровозов, удаленных от тяговой подстанции на большое расстояние.

Резонансные перенапряжения сопровождаются импульсными провалами напряжения, что может вызвать сбои в работе систем управления тиристорными преобразователями. Искажение формы напряжения на токоприемнике может сопровождаться уменьшением среднего значения напряжения. Это приводит к уменьшению величины выпрямленного напряжения.

Проведенный анализ показывает, что искажения синусоидальной формы кривых токов и напряжений отрицательно влияют на энергетические характеристики СТЭ и функционирование электроподвижного состава. Для обеспечения электромагнитной совместимости ЭПС с системой тягового электроснабжения необходима установка многофункциональных фильтро компенсирующих устройств (ФКУ), обеспечивающих компенсацию реактивной мощности, ограничение резонансных перенапряжений на токоприемнике ЭПС, обеспечение электромагнитной совместимости с цепями устройств автоматики и телемеханики. Такие ФКУ должны ослаблять низкочастотные гармоники в спектрах несинусоидальных напряжений и токов, исключить импульсные провалы напряжения, а также демпфировать резонансные явления на частотах выше 450-500 Гц.

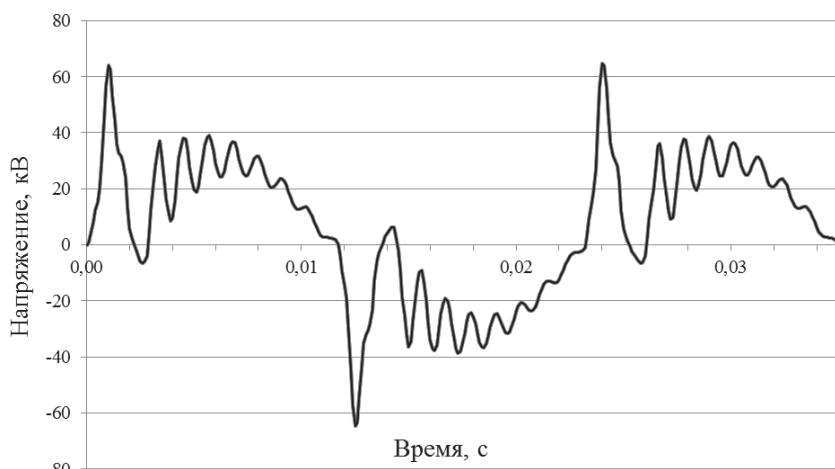


Рисунок 3 – Кривая напряжения на токоприемнике

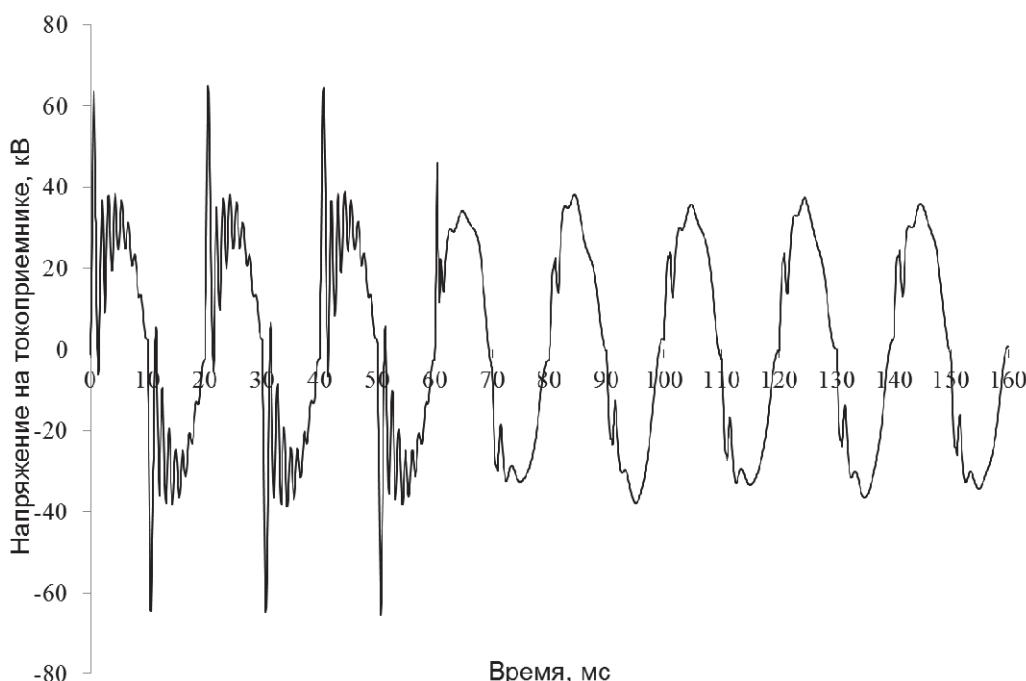


Рисунок 4 – Кривая напряжения на токоприемнике ЭПС при установке компенсирующего устройства в конце участка тяговой сети

Основным видом фильтрокомпенсирующих устройств являются пассивные силовые фильтры гармоник (ПФГ). Установка таких фильтров вблизи нелинейной нагрузки обеспечивает замыкание на землю токов высших гармоник через соответствующий колебательный контур. Особенностью СТЭ является то, что нелинейной нагрузкой является локомотив, перемещающийся вдоль линии.

В зависимости от решаемых задач схемное построение и места установки стационарных ФКУ могут быть различными. Анализ вариантов стационарного размещения ФКУ показал, что наибольший эффект дает установка ФКУ в конце участка. На рисунке 4 показана кривая напряжения на токоприемнике ЭПС при установке компенсирующего устройства в конце участка тяговой сети. Компенсирующее устройство состоит из трех узкополосных звеньев, настроенных на частоты 3, 5 и 7-й гармоник, а также широкополосного демпфирующего звена. Включение ФКУ происходит в момент времени $t = 60$ мс.

В заключение отметим, что в статье рассмотрена конечно-элементная модель сети тягового электроснабжения переменного тока. Использование модели позволило анализировать работу фильтрокомпенсирующих устройств в системе тягового электроснабжения, не прибегая к сложным и дорогостоящим натурным испытаниям. Анализ кривой напряжения на токоприемнике ЭПС показал, что серьезной проблемой СТЭ являются резонансные перенапряжения, провалы, а также пониженный средний уровень напряжения на токоприемнике ЭПС. Показано, что для ослабления высших гармоник в спектре напряжения на токоприемнике целесообразно устанавливать фильтрокомпенсирующее устройство в конце участка тяговой сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Макашева, С.И. Мониторинг качества электрической энергии в системах тягового электроснабжения переменного тока / С.И. Макашева. -Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. -104 с.
- 2 Савосыкин, А.Н. Математическое моделирование электромагнитных процессов в динамической системе «контактная сеть-электровоз» / А.Н. Савосыкин, Ю.М. Кулинич, А.С. Алексеев // Электричество. -2002. -№2. -С. 29-35.
- 3 Кучумов, В.А. Показатели качества электроэнергии на токоприемнике и взаимодействие ЭПС с системой тягового электроснабжения переменного тока / В.А. Кучумов, Д.В. Ермоленко // Вестн. ВНИИЖТ. -1997. -№2. -С. 11-16.
- 4 Morrison, R.E. Power quality issues on AC traction systems / R.E. Morrison // Conference rec. 9th international conf. Harmonics and quality of power, 2000. -Р. 709-714.
- 5 Привалов, С.Я. Анализ электрических величин на токоприемнике электровоза в режимах тяги и рекуперации / С.Я. Привалов // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. -№1. -С. 308-311.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *качество электроэнергии, система тягового электроснабжения, пассивные силовые фильтры гармоник*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Довгун Валерий Петрович, докт. техн. наук, профессор КИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Сташков Иван Анатольевич, аспирант КИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»
660028, г.Красноярск, ул.Ладо Кециховели, 89, КИЖТ, филиал ФГБОУ ВПО «ИрГУПС»

ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Г.И. Однокопылов, И.А. Розаев

OPERABILITY RESTORATION OF TWO-SECTIONED SWITCHED RELUCTANCE DRIVE IN EMERGENCY MODE
National research Tomsk polytechnic university
G.I. Odnokopylov, I.A. Rozaev

Under review fault-tolerant switched reluctance drive with sectioning of the three-phase stator winding. The paper introduces a special diagnostic algorithm and failure-free control algorithm for multi-section switched - reluctance motor with formation the assignment values of amplitude phase currents taking into account the failure matrix. A method of residual life evaluation is proposed on the base of calculating the coefficient of operability of the electric drive system that gives possibility to control the endurance of electric drive in real time from operational to completely unusable.

Keywords: *multi-sectioned switch-reluctance drive, failure bit, failure matrix, failure-free control algorithm, redundancy, fault-tolerance property*

Рассмотрен отказоустойчивый вентильно-индукторный электропривод с секционированием статорной трехфазной обмотки. Приведен разработанный алгоритм диагностики и отказоустойчивого управления двухсекционным вентильно-индукторным электроприводом с формированием заданий на фазные токи с учетом матрицы отказов электропривода. Предложен способ оценки остаточного ресурса электропривода на основании расчета коэффициента работоспособности системы электропривода.

вода позволяющий контролировать рабочий ресурс электропривода в реальном времени от состояния полной работоспособности до полного отказа системы.

В электроприводах, входящих в состав опасных производственных объектов или объектов военной промышленности, целесообразно применение отказоустойчивого управления с обеспечением свойства живучести. Из теории живучести технических систем известно, что данным свойством обладают только избыточные системы, а избыточность в технических системах реализуется через формирование резерва. Одним из решений задачи обеспечения отказоустойчивости электропривода в случае отказов отдельных фаз двигателя является применение вентильно-индукторного двигателя (ВИД) выполненного на основе многосекционной электрической машины.

В этом случае необходимая избыточность формируется при комплексном использовании структурного резерва многосекционного двигателя и функционального резерва основанного на использовании возможности работы трехфазной секции на двух оставшихся работоспособных фазах. Необходимый запас по току обеспечивается нагрузочным резервом, что позволяет работать с номинальной нагрузкой при загруженности каждой секции на половину своей максимальной мощности [1].

Решение задачи обеспечения отказоустойчивого управления предполагает мониторинг в реальном времени технического состояния электропривода с выработкой соответствующих битов в матрице отказов в случае неполнофазной работы электропривода и последующего полного или частичного восстановления работоспособности с использованием алгоритма отказоустойчивого управления. Многосекционный двигатель выполняется на основе независимых m -фазных статорных обмоток, расположенных на одном валу электродвигателя.

Для обеспечения отказоустойчивости электропривода необходимо своевременно производить диагностику системы на основе анализа фазных токов. Для обеспечения функционирования отказоустойчивого алгоритма требуется, чтобы каждая m -фазная обмотка двухсекционного ВИД поочередно запитывалась однополярным импульсом тока. На основании сигналов с датчиков токов формируются биты отказов раздельно для каждой секции m -фазного двухсекционного вентильно-индукторного электропривода (ВИП): $\bar{a}_{1i}; \bar{a}_{2i}, i = (X_1 = A), (X_2 = B), (X_3 = C), \dots, (X_m)$, по результатам анализа мгновенных значений амплитуды фазных токов секций электродвигателя, где X -индекс фазы. Соответственно для первой секции, если $|I_{1si} - I_{1oci}| \geq \delta$, то выявляют отказ i -фазы первой секции, и на основании анализа формируется бит отказа имеющий значение логического нуля или единицы: $\bar{a}_{1i} = 1, \alpha_{1i} = 0$, что позволяет сформировать матрицу битов отказов для анализируемой секции. Аналогично для второй секции электродвигателя, если $|I_{2si} - I_{2oci}| \geq \delta$, то выявляют отказ i -фазы второй секции: $\bar{a}_{2i} = 1, \alpha_{2i} = 0$. Здесь: I_{1si} - заданные значения мгновенной амплитуды формируемых фазных токов для i -фазы первой секции; I_{2si} - заданные значения мгновенной амплитуды формируемых фазных токов для i -фазы второй секции; δ - допустимая ошибка работы регулятора тока [1, 2]. На основании сформированных битов отказов формируется матрица отказов электропривода и на основании ее соответственно формируется матрица фазных токов двухсекционного ВИП в работоспособном состоянии:

$$\alpha_{ni} = \begin{bmatrix} \bar{a} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{b} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{c} \\ \bar{d} & 0 & 0 \\ 0 & \bar{e} & 0 \\ 0 & 0 & \bar{f} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; I_{ni} = \begin{bmatrix} I_{1A} \cdot \bar{\alpha} & 0 & 0 \\ 0 & I_{1B} \cdot \bar{\beta} & 0 \\ 0 & 0 & I_{1C} \cdot \bar{c} \\ I_{2A} \cdot \bar{d} & 0 & 0 \\ 0 & I_{2B} \cdot \bar{e} & 0 \\ 0 & 0 & I_{2C} \cdot \bar{f} \end{bmatrix},$$

где α_{ni} – матрица битов отказов;

a, b, c – биты отказов для фаз первой секции электродвигателя;

d, e, f – биты отказов для фаз второй секции электродвигателя;

I_{ni} – ток i -ой фазы n -секции ВИД.

Исходя из конструктивных особенностей ВИП и учитывая, что с учетом принятых допущений принимаем момент на валу двигателя равным электромагнитному моменту [3]:

где M_{ni} – момент формируемый i -ой фазой n -секции ВИД;

θ_r – угол поворота вала электродвигателя;

L_{ni} – индуктивность i -ой фазы n -секции ВИД.

Тогда матрица моментов двухсекционного ВИП в работоспособном состоянии имеет вид

$$M_{ni} = \begin{bmatrix} M_{1A}(i_{1A} \cdot \bar{\alpha}, \theta_r) & 0 & 0 \\ 0 & M_{1B}(i_{1B} \cdot \bar{\beta}, \theta_r) & 0 \\ 0 & 0 & M_{1C}(i_{1C} \cdot \bar{\gamma}, \theta_r) \\ M_{2A}(i_{2A} \cdot \bar{\delta}, \theta_r) & 0 & 0 \\ 0 & M_{2B}(i_{2B} \cdot \bar{\epsilon}, \theta_r) & 0 \\ 0 & 0 & M_{2C}(i_{2C} \cdot \bar{f}, \theta_r) \end{bmatrix}.$$

Момент двигателя представляет собой сумму моментов формируемых фазами, учитывая, что фазы не зависимы и не связаны электрическими и магнитными взаимодействиями

$$M_{\partial\theta} = \sum_{j=1}^m M_{nj}(i_{nj}, \theta_r). \quad (2)$$

Для двухсекционного ВИП в работоспособном состоянии момент двигателя будет определяться следующим выражением

$$\begin{aligned} M_{\partial\theta} &= M_{nX_1} + M_{nX_2} + \dots + M_{nX_m} = \\ &= M_{1A}(i_{1A} \cdot \bar{\alpha}, \theta_r) + M_{1B}(i_{1B} \cdot \bar{\beta}, \theta_r) + M_{1C}(i_{1C} \cdot \bar{\gamma}, \theta_r) + M_{2A}(i_{2A} \cdot \bar{\delta}, \theta_r) + M_{2B}(i_{2B} \cdot \bar{\epsilon}, \theta_r) + M_{2C}(i_{2C} \cdot \bar{f}, \theta_r). \end{aligned}$$

Момент двигателя при отказе фазы А в 1-ой секции примет вид

$$\begin{aligned} M_{\partial\theta} &= M_{nX_1} + M_{nX_2} + \dots + M_{nX_m} = 0 + M_{1B}(i_{1B} \cdot \bar{\beta}, \theta_r) + \\ &+ M_{1C}(i_{1C} \cdot \bar{\gamma}, \theta_r) + M_{2A}(i_{2A} \cdot \bar{\delta}, \theta_r) + M_{2B}(i_{2B} \cdot \bar{\epsilon}, \theta_r) + M_{2C}(i_{2C} \cdot \bar{f}, \theta_r). \end{aligned}$$

Соответственно при отказах в других фазах и секциях матрица отказов будет меняться в соответствии с текущим состоянием ВИП. Двухсекционный трехфазный ВИП имеет 64 рабочих и аварийных состояний. Поэтому система управления электроприводом уже содержит в памяти управляющего контроллера все рабочие и аварийные состояния ВИП, что позволяет во время диагностики системы определить текущий номер состояния из таблицы и организовать запуск необходимого алгоритма отказоустойчивого управления для данного состояния ВИП, а также оценить текущий уровень избыточности ВИП и коэффициент его работоспособности. Работа алгоритма отказоустойчивого управления основана на формировании задания на фазные токи секций в соответствии с данными полученными после мониторинга ВИП [1, 2].

Алгоритм отказоустойчивого управления двухсекционным ВИП имеет вид:

$$\begin{aligned} I_{1A} &= I_{\omega} \cdot \bar{a}(1+\bar{d}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{d}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}; \quad I_{1B} = I_{\omega} \cdot \bar{b}(1+\bar{e}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{e}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}; \\ I_{1C} &= I_{\omega} \cdot \bar{c}(1+\bar{f}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{f}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}; \quad I_{2A} = I_{\omega} \cdot \bar{d}(1+\bar{a}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{a}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}; \\ I_{2B} &= I_{\omega} \cdot \bar{e}(1+\bar{b}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{b}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}; \quad I_{2C} = I_{\omega} \cdot \bar{f}(1+\bar{c}) \cdot \frac{2}{4^{\bar{c}}} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}, \end{aligned}$$

где θ_e – электрический угол ротора в радианах

$$\theta_e = N_r \theta_r;$$

N_r – число полюсов ротора;

θ_r – механический угол положения ротора;

$\varphi(\theta_e, I)$ – значения формируемого угла;

$\varphi(t)$ – мгновенное значение угла с датчика положения ротора.

При аварийном состоянии ВИП формируются нулевые биты отказов соответствующих фаз секций электропривода, например, рассмотрим отказ фазы А 1 секции, тогда $\alpha_{1i} = 0$,

данная фаза блокируется и дальнейшего задания на фазный ток для нее не формируется, при этом для одноименной фазы второй секции задание на ток формируется удвоенным, тем самым исходя из (1 и 2) результирующий момент двигателя и частота вращения сохраняется на прежнем уровне.

При отказе фазы А первой секции, задание на фазные токи в соответствии с алгоритмом примут вид:

$$I_{1A} = I_{\omega} \cdot 0(1+1) \frac{2}{4^1} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\} = 0;$$
$$I_{2A} = I_{\omega} \cdot 1(1+0) \frac{2}{4^0} \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\} = I_{\omega} \cdot 2 \{1 + \text{sign}[\varphi(\theta_e, I) - \varphi(t)]\}.$$

Это возможно при условии, что многосекционная машина имеет запас по нагрузочному резерву при номинальной нагрузке. На основании предложенного алгоритма обеспечивается управление электроприводом при одиночных и множественных отказах без провалов по моменту и частоте вращения. Из уравнения (2) следует, что выходной момент двигателя будет изменяться прямо пропорционально числу остающихся в работе фаз. Так для нормального рабочего состояния $M_{\partial\theta} = M_{\partial\theta, \text{ном}}$, а для состояния с отказом одной фазы одной секции

$$M_{\partial\theta} = \left(1 - \frac{1}{6}\right) M_{\partial\theta, \text{ном}}.$$

При этом возможен расчёт коэффициента работоспособности, позволяющего оценивать для ВИП остаточный рабочий ресурс вплоть до полной потери работоспособности. Оценивается ущерб от одиночных или множественных отказов с помощью коэффициента работоспособности

$$k = \frac{s \cdot p}{2 \cdot m},$$

где n – число m -фазных секций;

p – коэффициент уровня остаточного момента ЭПТ (в относительных единицах);

s – коэффициент избыточности ЭПТ

$$s = 2m - w;$$

w – число отказов ЭПТ.

Коэффициент работоспособности системы электропривода позволяет оценить текущее состояние ВИП и рассчитать остаточный ресурс ВИП работы после одного или нескольких отказов [2].

Выводы:

1 Разработан алгоритм непрерывного мониторинга вентильно-индукторного электропривода с формированием битов матрицы отказов на основе анализа мгновенных значений фазных токов.

2 Разработан алгоритм отказоустойчивого управления трехфазным двухсекционным вентильным электроприводом позволяющий на основании матрицы отказов обеспечить свойство живучести при одиночных и множественных отказах одной или нескольких фаз электропривода с постепенным исчерпанием рабочего ресурса электропривода.

3 Предложен способ оценки остаточного ресурса электропривода на основании расчета коэффициента работоспособности системы электропривода позволяющий контролировать рабочий ресурс электропривода в реальном времени от состояния полной работоспособности до полного отказа системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Розаев, И.А. Моделирование вентильно-индукторного электропривода в аварийных режимах работы / И.А. Розаев, Г.И. Однокопылов // Изв. Томск. политехн. ун-та. -2013. -Т.323, -№4. -С. 138-143.

2 Rozayev, I.A. Formation of failure matrix and failure-free control algorithm for multi-sectioned Switched-reluctance drive / I.A. Rozayev, G.I. Odnokopylov // IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. 66 012035, 2014.

3 Krishnan, R. Switched reluctance motor drives: modeling, simulation, analysis, design, and applications / R. Krishnan. - BocaRaton: CRCPress, 2001.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: многосекционный отказоустойчивый вентильно-индукторный электропривод, бит отказа, матрица отказов, алгоритм отказоустойчивого управления, избыточность, живучесть

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Однокопылов Георгий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

Розаев Иван Андреевич, магистрант, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГОЛОЛЁДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Тюменский государственный нефтегазовый университет» филиал «Тобольский индустриальный институт»

**Ю.В. Дёмин, С.В. Ивашкин, Г.В. Иванов, А.С. Будкин,
А.В. Демьянчук, А.М. Глаголев**

IMPROVED UTILIZATION OF THE INSTALLATION WARNINGS OF ICE CONSTANT CURRENT

Novosibirsk state academy of water transport

Branch of Tyumen state oil and gas university in Tobolsk

Yu.V. Demin, S.V. Ivashkin, G.V. Ivanov, A.S. Budkin, A.V. Demyanchuk, A.M. Glagolev

The possibility of using artificial earth electrodes (anodes) as a resistive load device (NPCs) in the prevention of ice.

Keywords: preventing ice, direct current, resistive load devices, soil corrosion

Рассмотрена возможность использования искусственных заземлителей (анодов) в качестве резистивного нагрузочного устройства (РНУ) при предупреждении гололёда.

Для предотвращения образования гололёда на проводах и тросах воздушных линий электропередач (ВЛ) различных классов напряжения могут эффективно использоваться резистивные нагрузочные устройства (РНУ). Включенные в определенных точках электрической сети, они позволяют при возникновении опасности гололёдных отложений увеличить токовую нагрузку по проводам и тросам до значений, препятствующих образованию гололёда, тем самым обеспечивая «самозащиту» линий электропередачи.

В качестве нагрузочных устройств в электрических сетях в качестве возможного варианта могут использоваться системы заземляющих электропроводов и подключенным к фазам источника напряжения 6-10 кВ.

Поскольку токи необходимые для профилактического прогрева проводов и тросов в 1,5-2 раза меньше токов плавки гололёда, то использование РНУ позволяет расширить зону активной борьбы с гололёдом.

Предлагаемое техническое решение позволяет изменить тактику борьбы с гололёдом. Активное противодействие гололёду осуществляется заблаговременно на основании метеорологического прогноза путём включения в гололёдоопасный период, в определённых узлах электрической сети РНУ. Наиболее вероятные периоды работы РНУ в период минимальных нагрузок в ночные и утренние часы (до 6-7 ч утра). Для рационального использования устройств период их работы согласован с графиком нагружки обогреваемых линий [1].

Расчёт сопротивления растеканию заземлителей, используемых для создания РНУ. Экспериментальные исследования, проведенные Сибирским НИИ Энергетики (СибНИИЭ), на заземлителях в форме шара показали перспективность использования грунта в качестве РНУ.

В экспериментальных исследованиях использовался, например, заземлитель в форме шара диаметром 20 см, на глубине 100 см. Примем удельное сопротивление земли 100 Ом·м. Сопротивление растеканию заземлителя (рисунок 1)

$$R = \frac{\rho}{2\pi D} \left(1 + \frac{D}{4t} \right), \quad (1)$$

Для приведенных значений

$$R = \frac{100}{2\pi \cdot 0,2} \left(1 + \frac{0,2}{4 \cdot 1} \right) = 83,6 \text{ Ом.}$$

Учитывая тот факт, что гололёдный период наблюдается 2 раза в год (весна и осень), а остальное время установка плавки (или предупреждение) гололёда на постоянном токе не используется, то целесообразно использовать её в качестве катодной защиты. РНУ в этом случае может выполнять функции анодного заземлителя.

Рассмотрим расчёт катодной защиты заземляющего устройства реальной подстанции,

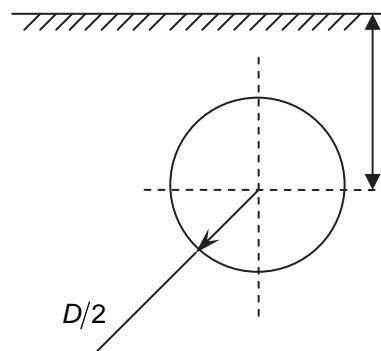


Рисунок 1 – Схема заземлителя

например, подстанции 220 кВ «Макаровская» (Сахалинэнерго), расположенной в гололёдном районе.

Расчёт катодной защиты подстанции 220 кВ «Макаровская» (Сахалинэнерго). Воспользуемся результатами расчёта Л.Д. Сафрошиной [2]. Срок службы подстанции «Макаровская» составляет 15 лет. На некоторых участках глубина коррозии искусственных заземлителей соответствует степени K_{1-2} (высокая степень коррозии). Следовательно, необходимо рассчитать защитную плотность тока.

Расчет необходимой защитной плотности тока. Защитная плотность тока определяется из расчета снижения скорости коррозии до степени K . Для этого используются графики на рисунке 2.

По диаграммам на рисунке 2 определяется прирост глубины коррозии $V_{об}$ в год, предшествующий включению защиты (для существующих объектов) или в первый год эксплуатации для проектируемых объектов. Определяется скорость коррозии в зоне K_3 , для этого же периода времени V_3 .

Используя известную связь между скоростью коррозии и вызвавшей ее плотностью тока, рассчитывается величина необходимой (компенсирующей) защитной плотности тока

$$i = \frac{V_{об} - V_3}{1,16} \cdot 10^3, \quad (2)$$

По соответствующим зависимостям (рисунок 2) определяем прирост за последний год.

$$V = \delta_{15} - \delta_{14}, \text{ мм/год,}$$

где

$$\delta_t = a \cdot \ln^3 t + b \cdot \ln^2 t + c \cdot \ln t + d, \text{ мм.}$$

Для степени коррозии K_1 за 15 лет (180 мес). Глубина коррозии равна $\delta_{15} = 2,42$ мм, для $t = 14$ лет (168 мес.) – $\delta_{14} = 2,34$ мм.

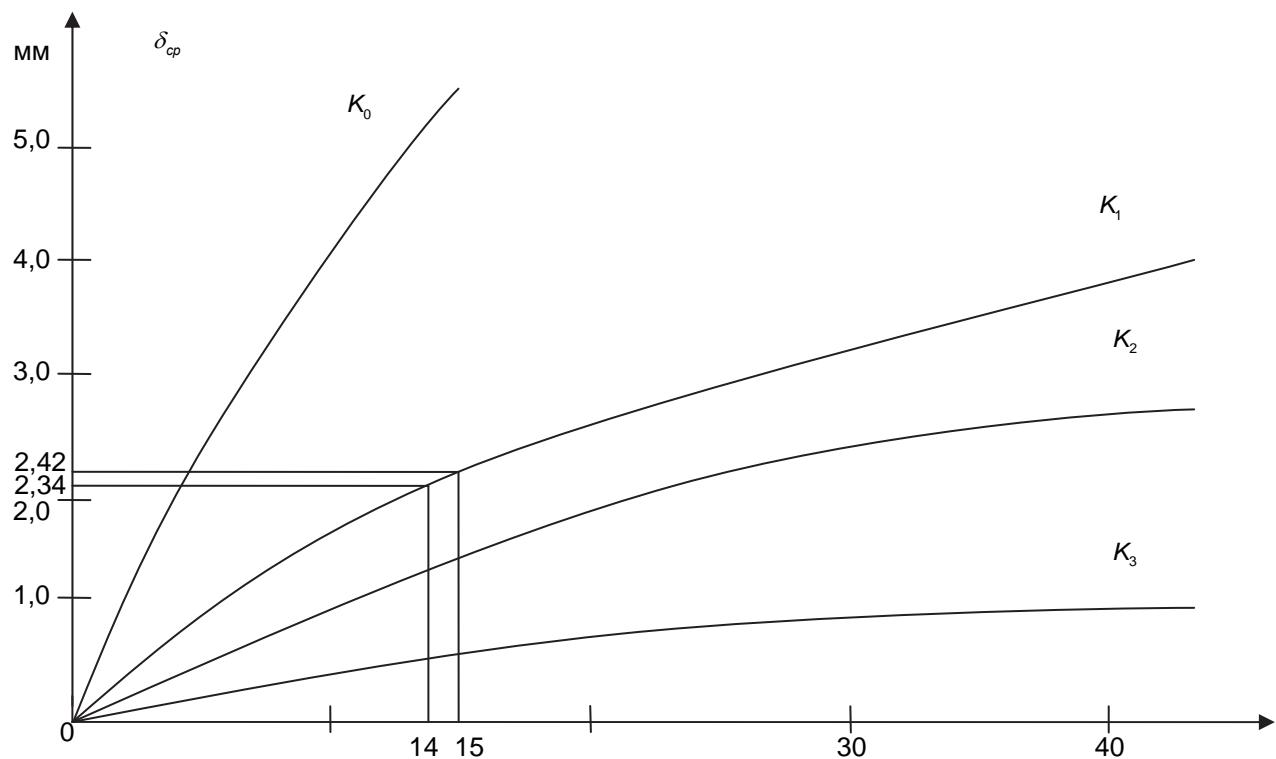


Рисунок 2 – Рост средней глубины грунтовой коррозии

Таким образом, при агрессивности грунта соответствующей степени K_1 скорость коррозии V_1 равна 0,08 мм/год. Аналогичным образом проведя расчеты для K_2 находим скорость коррозии V_2 равную 0,04 мм/год. Реальную степень коррозии, соответствующего степени K_{1-2} , можно принять равной среднему арифметическому найденных величин, то есть $V_{1-2} = 0,06$ мм/год. Этой скорости коррозии соответствует плотность анодного тока, равная

$$i = \frac{V}{K} = \frac{0,06}{1,16 \cdot 10^{-3}} = 52 \text{ мА/м}^2,$$

где K – коэффициент пропорциональности между плотностью анодного тока и глубиной коррозии; для стали $K = 1,16 \cdot 10^{-3}$ $\text{мм} \cdot \text{с}^2 / (\text{мА} \cdot \text{год})$.

Поскольку заземлители подстанции имеют значительные коррозионные повреждения – необходимо полностью прекратить их дальнейшее разрушение. В противном случае, даже при скорости коррозии K_3 , заземлители могут оказаться термически неустойчивыми.

Для прекращения коррозии необходимо компенсировать ток коррозии путем наложения равного ему, но противоположно направленного тока защиты. Таким образом, необходимая защитная плотность тока равна 52 мА/м².

Определим величину общего защитного тока по формуле (2)

$$\ln I = -5,886 + 2,115 \ln \pi - 0,8 \ln(\rho_3 n) + 0,83 \ln(\rho_3 i) = 4,158 ; I = 63,9 \text{ А},$$

где n – количество фундаментов на п/ст равно 160;

ρ_3 – удельное эквивалентное сопротивление грунта, принимается 25 Омм.

Необходимое количество анодов

$$N = \frac{I}{S \cdot K_u} = \frac{63,9}{0,94 \cdot 0,9} = 76 \text{ шт.}$$

После размещения необходимого количества анодов на плане подстанции определяем среднее относительное расстояние между ним, которое равно 19,6.

Уточняем величину общего защитного тока [2]

$$\ln I = -4,03 + 1,1 \ln 160 + 0,4 \ln(19,6 \cdot 52) = 4,32 , I = 75,2 \text{ А.}$$

Уточняем количество анодов

$$N = \frac{75,2}{0,94 \cdot 0,9} = 89 \text{ шт.}$$

Наносим на план полученное количество анодов и вновь рассчитываем относительное среднее расстояние между ними. Оно равно 18,4. Ему соответствует величина общего защитного тока 73,7 А. Поскольку новое значение тока отличается от предыдущего менее, чем на 3% – расчет тока можно прекратить. Последнему значению тока соответствует окончательное количество анодов, равное 87.

Далее рассчитывается мощность катодной защиты [2].

$$\ln P = 10,195 + 1,38 \ln(25 \cdot 160) + 2,874 \ln(19,6 \cdot 52) - 1,348 \ln(25 \cdot 52) - 2,72 \ln 19,6 = 7,54 ; P = 1888,2 \text{ Вт.}$$

Таким образом, для катодной защиты подстанции «Макаровская» могут быть использованы две катодные станции КСС 1200, общей мощностью 2,4 кВт.

Сравнительные данные при использовании РНУ для предупреждения голода и при использование РНУ в качестве анодного заземлителя приведены в таблице.

Таблица – Сравнительные данные при использовании РНУ

Параметр	Для предупреждения гололеда	Для катодной защиты
Плотность тока, А/м ²	2,4	0,052
Ток, А	75-100	75,2
Рассеиваемая мощность, кВт	1000-2000	2,4
Режим работы	несколько суток	длительный

Таким образом, можно констатировать, что РНУ в земле можно с успехом использовать и для предупреждения гололеда и для защиты от коррозии.

Требуемую мощность (2,4 кВт) можно получить от УПГ, используя, например, делители напряжения. Однако расчеты показывают, что использование УПГ в качестве катодной защиты неэффективно вследствие больших потерь электроэнергии в схеме выпрямителей.

Вследствие этого напрашивается следующий общий вывод:

1 Необходимо для защиты от коррозии использовать типовые катодные станции, например, две станции КСС-1200.

2 Для предупреждения гололеда использовать анодные заземлители катодных станций.

Катодные станции должны быть отключены, а анодные заземлители подключены к установке УПГ на время проведения предупреждения гололедных отложений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Жук, Н.П. Коррозия и защита металлов. Расчеты / Н.П. Жук. -М.: Машгиз, 1957. -331 с.

2 Сафрошина, Л.Д. Влияние плавки гололеда на постоянном токе на коррозию заземляющих устройств подстанций / Л.Д. Сафрошина, Ю.В. Демин // Сиб. науч. вестн. / Новосиб. гос. акад. вод. трансп., Новосиб. науч. центр «Ноосфер. знания и технологии» Рос. Акад. естеств. наук. -Новосибирск, 2006. -Вып.VI. -С. 192-195.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: предотвращение гололеда, постоянный ток, резистивные нагрузочные устройства, грунтовая коррозия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Ивашин Сергей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Иванов Геннадий Викторович, канд. техн. наук, доцент филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГНГУ» в г. Тобольске

Будкин Антон Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Демьянчук Алена Валерьевна, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Глаголев Александр Максимович, студент ФГБОУ ВО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 626158, г. Тобольск, Зона вузов №5, Филиал ФГБОУ ВПО «ТюмГНГУ» в г. Тобольске
630099, г. Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

АЛГОРИТМЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин

ALGORITHMS FOR FAULT-TOLERANT CONTROL OF INDUCTION MOTOR DRIVE IN EMERGENCY PHASE LOST MODE

National research Tomsk polytechnic university

G.I. Odnokopylov, A.D. Bragin

Algorithms for fault-tolerant control of three-phase induction motors as part of the drive with scalar and vector control system in emergency phase lost mode are considered. A comparative analysis of recovery algorithms based on simulation are shown.

Keywords: induction motor electric drive, algorithms for fault-tolerant control, phase failure mode, loss of phase

Рассмотрены алгоритмы отказоустойчивого управления трехфазным асинхронным двигателем в составе электропривода со скалярным и векторным управлением в аварийном неполнофазном режиме. Приведен сравнительный анализ алгоритмов восстановления на основе моделирования.

Обеспечение отказоустойчивого управления со свойством живучести асинхронного электропривода переменного тока (ЭПТ) предполагает разработку алгоритмов восстановления работоспособности с полным или частичным восстановлением и круговым вращающимся полем. Задача разработки алгоритмов отказоустойчивого управления для асинхронного ЭПТ со скалярным и векторным управлением на основе моделирования системы управления является целью данной статьи.

Обеспечение формирования кругового вращающегося поля для трехфазной электрической машины может быть сформулировано следующим образом [1]: сдвиг векторов тока на угол $\beta = \pi/3$ с равенством магнитодвижущих сил, что обеспечивается работой регуляторов тока.

Выполнение данного условия предполагает технические решения с различными алгоритмами для асинхронных двигателей (АД). Возможна работа с опережающей или отстающей фазой и для рабочих углов сдвига токов на π [3], $\pi/3$ [4] радиан и несинусоидальными токами [5,] для скалярного управления электроприводом. В случае векторного управления электроприводом необходимо применение координатного преобразования [6]. Такой подход позволяет сформировать дополнительную избыточность на основе функционального резерва трехфазного ЭПТ и обеспечить работоспособность в аварийном двухфазном режиме работы.

Алгоритм восстановления работоспособности АД с поворотом векторов тока на $\pi/3$ радиан. Формируются мгновенные значения токов в двух оставшихся фазах асинхронного двигателя по выражениям для опережающей фазы вектора тока:

$$I_A = I_\omega \bar{a} k_o k_d \sin[\alpha + c\zeta - b(\pi/3 - \zeta)];$$

$$I_B = I_\omega \bar{b} k_o k_d \sin[\alpha + a\zeta - c(\pi/3 - \zeta) + 2\pi/3];$$

$$I_C = I_\omega \bar{c} k_o k_d \sin[\alpha + b\zeta - a(\pi/3 - \zeta) + 4\pi/3],$$

или для отстающей фазы вектора тока:

$$I_A = I_\omega \bar{a} k_o k_d \sin[\alpha - b\zeta + c(\pi/3 - \zeta)];$$

$$I_B = I_\omega \bar{b} k_o k_d \sin[\alpha - c\zeta + a(\pi/3 - \zeta) + 2\pi/3];$$

$$I_C = I_\omega \bar{c} k_o k_d \sin[\alpha - a\zeta + b(\pi/3 - \zeta) + 4\pi/3],$$

где I_ω – значение амплитуды формируемых фазных токов I_A, I_B, I_C , А;

a, b, c – значение битов слова состояния электропривода по отказам;

$\bar{a}, \bar{b}, \bar{c}$ – инверсные значения битов a, b, c ;

k_o – коэффициент отключения двигателя в аварийном режиме,

$$k_o = 0, \text{ если } \bar{a} + \bar{b} + \bar{c} \geq 2 \text{ иначе } k_o = 1;$$

k_d – коэффициент увеличения амплитуды фазных токов в аварийном режиме

$$k_d = d + \bar{d} \frac{3}{2};$$

α – значение текущего двоичного кода цифрового сигнала с выхода датчика положения ротора или двоичный код цифрового сигнала, полученного в результате интегрирования сигнала с датчика скорости асинхронного двигателя;

ζ – значение угла поворота первого вектора тока, рад.;

$(\pi/3 - \zeta)$ – значение угла поворота второго вектора тока, рад.

Алгоритм восстановления работоспособности АД с поворотом векторов тока на π радиан. Формируются мгновенные значения фазных токов асинхронного двигателя для опережающей фазы вектора тока опережающей фазы вектора тока:

$$I_A = I_\omega \bar{a} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi b];$$

$$I_B = I_\omega \bar{b} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi c + 2\pi/3];$$

$$I_C = I_\omega \bar{c} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi a + 4\pi/3],$$

или для отстающей фазы вектора тока:

$$I_A = I_\omega \bar{a} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi c];$$

$$I_B = I_\omega \bar{b} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi a + 2\pi/3];$$

$$I_C = I_\omega \bar{c} k_o k_d \sin[(2^\sigma - 1 - \alpha)\bar{d} + \alpha d \pm \pi b + 4\pi/3],$$

где d – значение бита, вычисляемого по логическому выражению

$$d = a \cup b \cup c,$$

\cup – логическая операция "ИЛИ", и если $d = 1$, то делают вывод об отказе в одной из фаз двигателя.

Алгоритм восстановления работоспособности АД с формированием несинусоидальных токов. Восстановление работоспособности трехфазного АД возможно при выполнении условия равенства активной мощности P_3 до и P_2 после появления n отказов в случае соответствующего увеличения токов в оставшихся фазах в k раз: $k = P_3/P_2$ для выполнения условия: $P_3 = kP_2$, поэтому отказ в фазе «А», выражение (1) для коэффициента k

$$k = \frac{P_2}{P_3} = \frac{I_{2\Sigma}}{I_{3\Sigma}} = \frac{3/2}{\bar{b} \sin(\alpha + 2\pi/3) + \bar{c} \sin(\alpha + 4\pi/3)}.$$

Несинусоидальные фазные токи в системе управления электроприводом формируются по выражениям:

$$I_b = \frac{\frac{3}{2} I_m \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right)}{\bar{b} \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) + \bar{c} \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right)}; \quad I_c = \frac{\frac{3}{2} I_m \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right)}{\bar{b} \sin\left(\alpha + \frac{2\pi}{3}\right) + \bar{c} \sin\left(\alpha + \frac{4\pi}{3}\right)},$$

где I_m – значение амплитуды формируемых фазных токов I_A, I_B, I_C , А.

Алгоритм отказоустойчивого управления ЭПТ с АД и векторным управлением. Вышеприведенные алгоритмы восстановления работоспособности применимы для систем управления со скалярным управлением и не могут быть применены непосредственно для систем ЭП с векторным управлением. Система векторного управления ЭПТ в неполнофаз-

ном режиме АД выполненного по схеме с развязанными фазами неработоспособна. Восстановление работоспособности может быть обеспечено путем добавления в систему векторного управления у координатного преобразователя тока, реализующего алгоритм восстановления в соответствии с битами отказов из матрицы отказов. Координатное преобразование для сдвига векторов тока на угол $\pi/3$ имеет вид для опережающей фазы вектора тока

$$\begin{bmatrix} \bar{a} k_d & 0 & 0 \\ 0 & \bar{b} k_d & 0 \\ 0 & 0 & \bar{c} k_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\left(\frac{\pi}{3}c\right) & \sin\left(\frac{\pi}{3}c\right) & 1 \\ \cos\left(-\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}a\right) & \sin\left(-\frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{3}a\right) & 1 \\ \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}b\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3} + \frac{\pi}{3}b\right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_0 \end{bmatrix},$$

или для отстающей фазы вектора тока

$$\begin{bmatrix} \bar{a} k_d & 0 & 0 \\ 0 & \bar{b} k_d & 0 \\ 0 & 0 & \bar{c} k_d \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_A \\ I_B \\ I_C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\left(-\frac{\pi}{3}c\right) & \sin\left(-\frac{\pi}{3}c\right) & 1 \\ \cos\left(-\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}a\right) & \sin\left(-\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}a\right) & 1 \\ \cos\left(\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}b\right) & \sin\left(\frac{2\pi}{3} - \frac{\pi}{3}b\right) & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ i_b \\ i_0 \end{bmatrix}.$$

Моделирование электропривода в неполнофазных аварийных режимах работы с использованием алгоритмов восстановления работоспособности. Для моделирования был выбран двигатель АИР63А2. Оптимизация контуров производилась согласно методике, представленной в [2]. Расчет модели проводился в среде MatlabSimulink.

Наиболее неблагоприятным алгоритмом является алгоритм сдвига отстающей фазы со сдвигом векторов тока на угол π , при его использовании провал по частоте вращения является максимальным и составляет 78,91% от номинального значения. Далее следуют алгоритмы с отстающей фазой тока $\pi/3$ с провалом по частоте вращения 21,71%, с опережающей фазой на угол $\pi - 19,65\%$. Анализ рассмотренных алгоритмов восстановления позволяет сделать вывод, что к снижению провала по частоте вращения в момент аварии способствует уменьшение углового пути вращения вектора тока с π до $\pi/3$ радиан и выбор направления движения вектора тока навстречу движению ротора двигателя.

Алгоритмы отказоустойчивого управления в аварийном двухфазном режиме трехфазного АД со скалярным управлением с несинусоидальными токами позволяет получить провал по частоте вращения 16,57%.

Анализируя приведенные данные можно выделить алгоритмы, предпочтительные для использования. Так при использовании векторного управления и сдвига опережающей фазы на угол $\pi/3$ провал по частоте вращения и моменту отсутствует. Среди алгоритмов скалярного управления можно выделить алгоритм сдвига опережающей фазы на угол $\pi/3$, при использовании которого провал по частоте вращения отсутствует, а броски момента и тока минимальны.

Выводы:

1 Разработаны алгоритмы отказоустойчивого управления в аварийном двухфазном режиме трехфазного асинхронного ЭПТ с частотно-токовым управлением с несинусоидальными токами и сдвигом векторов тока на углы $\pi/3$ и π радиан для опережающей и отстающей фаз векторов тока. Для алгоритмов отказоустойчивого частотно-токового управления лучшие результаты получены для сдвига опережающей фазы $\pi/3$, провал частоты вращения в момент аварии составил 5,69%.

2 Разработаны алгоритмы отказоустойчивого управления в аварийном двухфазном режиме трехфазного асинхронного ЭПТ с векторным управлением и сдвигом векторов тока на углы $\pi/3$ радиан для опережающей и отстающей фазы векторов тока. Для алгоритма отказоустойчивого векторного управления получены наилучшие результаты для сдвига опережающей фазы $\pi/3$ – провал по частоте вращение в момент аварии отсутствует.

3 Установлено, что к снижению провала по частоте вращения в момент аварии способствует уменьшение углового пути вращения вектора тока с π до $\pi/3$ радиан и выбор на-

правления движения вектора тока навстречу движению ротора двигателя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Юферов, Ф.М. Электрические машины автоматических устройств / Ф.М. Юферов. -М.: Высш. шк., 1988. -479 с.
- 2 Чернышев, А.Ю. Электропривод переменного тока: учеб. пособие / А.Ю. Чернышев, Ю.Н. Дементьев, И.А. Чернышев; Томск. политехн. ун-т. -Томск: Изд-во ТПУ, 2011. -213 с.
- 3 Мальцева О.П. Системы управления электроприводов: учеб. пособие / О.П. Мальцева, Л.С. Удут, Н.В. Коян. -Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2007. -152 с.
- 4 Пат. 2326480 Российская Федерация, Н02Н 7/09, Н02Н 7/12. Способ управления и обеспечения живучести трёхфазного асинхронного двигателя / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов. -№2007112527; заявл. 04.04.07; опубл. 10.06.08, Бюл. №16.
- 5 Пат. 2460190 Российской Федерации, Н02Н 7/09, Н02Н 7/12, Н02Н 7/122. Способ управления и обеспечения живучести трехфазного асинхронного двигателя вращательного или поступательного движения / Г.И. Однокопылов, И.Г. Однокопылов, Ю.Н. Дементьев, И. Центнер. -№2011113290; заявл. 06.04.11; опубл. 27.08.12, Бюл. №24.
- 6 Однокопылов, Г.И. Отказоустойчивый многофазный асинхронный электропривод с несинусоидальными токами / Г.И. Однокопылов // Изв. ТПУ. -2013. -Т.322, -№4. -С. 151-154.
- 7 Однокопылов, Г.И. Векторное управление отказоустойчивым асинхронным электроприводом / Г.И. Однокопылов, А.Д. Брагин // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№2. -С. 327-330.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный электропривод, алгоритмы отказоустойчивого управления, неполнофазный режим работы, обрыв фазы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Однокопылов Георгий Иванович, канд. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

Брагин Александр Дмитриевич, студент ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Б.В. Палагушкин, Ю.В. Дёмин, Д.А. Елизаров, Е.Г. Алаев, И.Л. Власов, А.С. Герасименко, Ю.М. Денчик

ANALYSIS OF EXISTING METHODS ESTIMATE OF THE SPECTRAL COMPONENT OF THE VOLTAGE IN ELECTRIC POWER SYSTEMS

Novosibirsk state academy of water transport
Omsk state transport university

B.V. Palagushkin, Yu.V. Demin, D.A. Elizarov, E.G. Alaev, I.L. Vlasov, A.S. Gerasimenko, Ju.M. Denchik

A comparative analysis of methods for assessing the spectral components of the voltage.

Keywords: algorithm, spectrum estimation, voltage

Выполнен сравнительный анализ методов оценки спектральных составляющих напряжения.

Введение новых стандартов по качеству электроэнергии (КЭ) повлекло за собой изменение требований к количественному составу параметров и точности их оценки (ГОСТ 13.109-97 и ГОСТ Р 54149-10). Одним из важнейших параметров является несинусоидальность напряжения (норма $\pm 2\%$, предельная величина $\pm 4\%$), так как она существенно влияет на работу электроэнергетических систем (ЭС).

При наличии несинусоидальности напряжения в сети наблюдаются: ускоренное старение изоляции, ухудшение работы цифровой техники, затруднения в компенсации реактивной мощности с помощью конденсаторных батарей. В то же время точность определения коэффициента несинусоидальности оставляет желать лучшего: так, при его значении 7-10%, погрешность измерения в ЭС может достигать 4-6%. В связи с этим необходимо совершенствовать как технические средства контроля качества электроэнергии, так и математические методы его оценки.

В работе проанализированы алгоритмы, описывающие оценки спектральных составляющих напряжения:

- метод Якобсена (Jacobsen's Modified Quadratic Estimator);
- два метода Квина (Quinn's Estimator, Quinn's Second Estimator);
- два метода Маклеода (Macleod's Estimator);
- метод Грэндка (Grandke's method);
- алгоритм параболической интерполяции (Parabolic Interpolation);
- алгоритм интерполяции Гаусса (Gaussian Interpolation);

- алгоритм, рекомендованный в ГОСТ Р 51317.4.7–2008 (метод по ГОСТу);
- метод корреляционных функций (Method of correlation functions).

Все алгоритмы, кроме метода по ГОСТу и метода корреляционных функций, являются интерполяционными для нахождения параметров гармоник напряжения. Сутью методов интерполяции является нахождение промежуточных значений величины по имеющемуся дискретному набору известных значений, то есть кривая построенной функции должна пройти через имеющиеся точки данных.

Исследование всех рассмотренных методов производилось в среде пакета Matlab.

Модель напряжения $u(t)$ рассматривается в виде суммы синусоидальных напряжений различных амплитуд и частот, кратных основной частоте, с наложенным аддитивным белым гауссовым шумом $\eta(t)$

$$u(t) = \sum_{\nu=0}^{\nu=N} A_\nu \sin\left(\frac{2\pi}{T_\nu} \nu t + \varphi_\nu\right) + \eta(t),$$

где A_ν – амплитуда ν -ой гармоники;

φ_ν – фаза ν -ой гармоники;

T_ν – период.

Метод Якобсена (Jacobsen's Modified Quadratic Estimator). Метод Якобсена основан на определении максимума спектра по трём точкам быстрого преобразования Фурье (БПФ). В качестве интерполируемой функции выступает квадратичная функция, графиком которой является парабола, близкая к спектру функции исследуемого напряжения (вершина параболы и максимальное значение спектра делят график пополам).

Методы Квина (Quinn's Estimator, Quinn's Second Estimator). 1-ый метод Квина основан на выборе одной из двух оценок δ_1 или δ_2 , в зависимости от значений соседних точек БПФ (номера отсчетов максимума БПФ и его двух соседних точек обозначены κ , $\kappa+1$, $\kappa-1$). Разность между $K_{\text{рекл}}$ и K обозначены δ). Второй метод Квина: параметр δ определяется по упрощенной формуле.

Методы Маклеода (Macleod's Estimator). Базовая часть метода Маклеода похожа на базовую часть метода Якобсена. Так же существует метод Маклеода, в котором оценка частоты осуществляется не по трем точкам БПФ, как в предыдущих ранее рассмотренных методах, а по 5 точкам БПФ.

Метод Грэндка (Grandke's method). Метод Грэндка основан на выборе одной из двух оценок δ_1 и δ_2 , в зависимости от значений соседних точек БПФ. Если левый пик $\kappa-1$ больше правого $\kappa+1$, то искомое значение $\delta = \delta_1$, в противном случае – δ_2 .

Метод Грэндка требует применения оконной функции Хэмминга для результатов БПФ. Процесс наложения окна представляет собой умножение неограниченного во времени напряжения $u(t)$ на ограниченную во времени функцию $w(t)$. Основная цель наложения окна – получение ограниченной во времени функции, при минимальных спектральных искажениях. Процесс наложения и окно Хэмминга на 2048 точек показаны на рисунке 1.

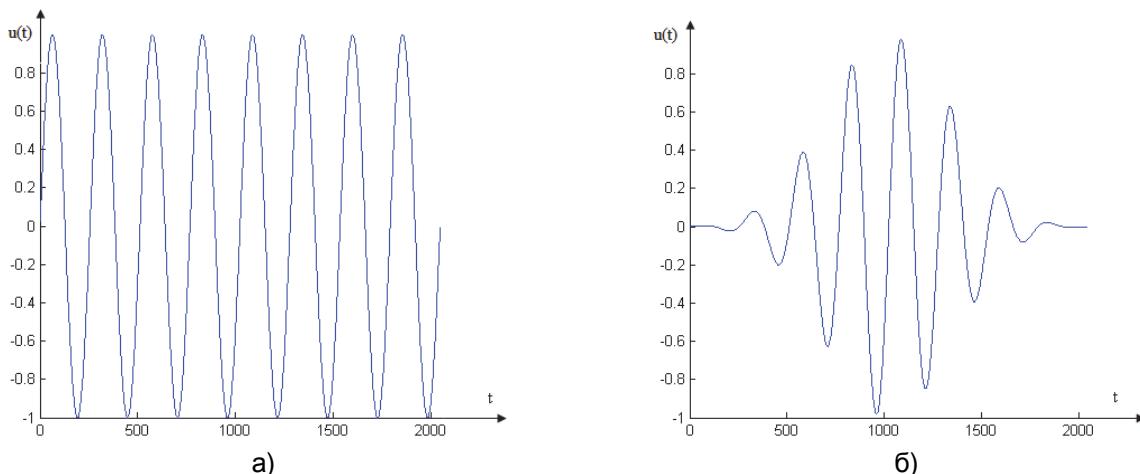


Рисунок 1 – Напряжение: а)-до наложения на него окна; б)-после наложения на него окна

Алгоритм параболической функции (Parabolic Interpolation). Алгоритм параболической функции основан на определении максимума спектра на основании трёх точек БПФ взвешенной функции напряжения.

Метод требует использования окон Ханна, Блэкмана и Гаусса (с параметрами $T = 0,3$ и $T = 0,5$), рисунок 2.

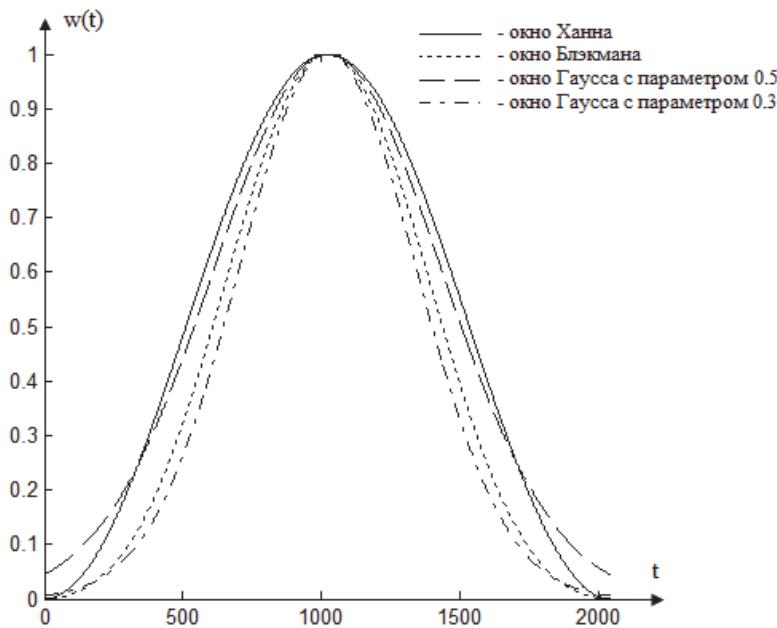


Рисунок 2 – Окна Ханна, Блэкмана и Гаусса (с параметрами 0,3 и 0,5) на 2048 точек

Алгоритм интерполяции Гаусса (Gaussian Interpolation). Алгоритм интерполяции Гаусса подобен алгоритму параболической интерполяции. В данном случае используют значения логарифмического спектра, в котором значения $u(k-1)$, $u(k)$ и $u(k+1)$ заменяют на натуральные логарифмы: $\ln[u(k-1)]$, $\ln[u(k)]$ и $\ln[u(k+1)]$, соответственно.

Метод корреляционных функций (Method of correlation functions). Корреляционный анализ широко используется для решения технических задач. Метод корреляционных функций нельзя отнести к группе предыдущих методов, так как он не является интерполяционным и принципиально отличается алгоритмом работы.

Базовым параметром метода корреляционных функций является коэффициент корреляции. Для исследуемой функции напряжения формируется набор эталонов. Далее производится анализ на наличие связи в точках между параметрами исследуемого напряжения и эталонами. Наибольшее значение коэффициента корреляции показывает на эталон, параметр которого необходимо выбрать.

Неравенство Крамера-Рао может быть использовано для доказательства условия наименьшей дисперсии данной оценки. Оценка параметра является эффективной в том случае, если ее значение приближается к границе и, тем самым, имеет минимальное отклонение. Таким образом, данная оценка лучше всех остальных. Метод корреляционных функций, с такой дисперсией, обладает наивысшей точностью

$$\sigma^2 = 10^{-\frac{SNR}{10}},$$

где SNR – соотношение «сигнал-шум».

Для амплитуды, частоты и фазы гармоник напряжения неравенства Крамера-Рао выглядят следующим образом:

$$D(A) \geq \frac{2\sigma^2}{N}; D(f) \geq \frac{12\sigma^2}{A^2\pi^2 N(N-1)(2N-1)}; D(\varphi) \geq \frac{2\sigma^2}{A^2\pi^2 N(N-1)},$$

где A – амплитуда гармоники,

N – число отсчетов БПФ.

На рисунке 3 представлены графики зависимостей смещения оценки основной частоты от уровня шума для рассмотренных выше методов.

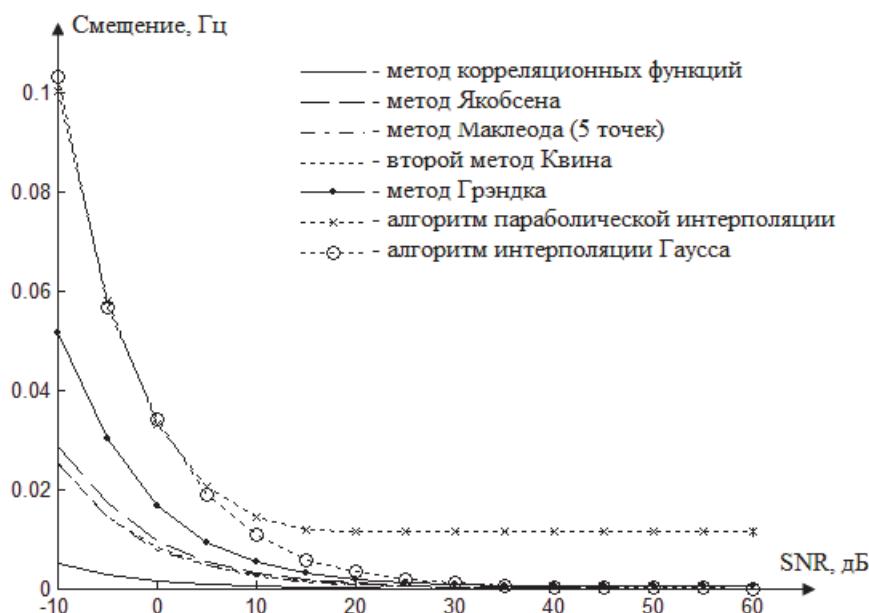


Рисунок 3 – Графики зависимостей смещения основной частоты от уровня шума

На рисунке 4 представлены графики зависимостей дисперсии при оценке основной частоты напряжения от уровня шума.

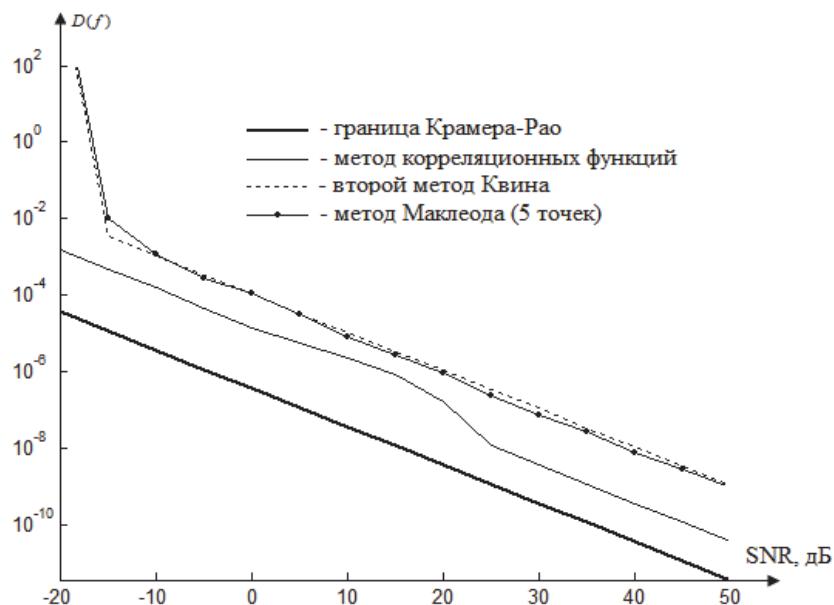


Рисунок 4 – Дисперсия при оценке основной частоты напряжения

Исследование существующих методов определения частоты гармоник напряжения при малом уровне шума (значение SNR от 30 дБ) показало, что все методы имеют достаточно высокую точность. При повышении уровня шума погрешность интерполяционных методов значительно возрастает и, начиная с определенного уровня, они перестают работать.* Если сравнивать интерполяционные методы, то можно отметить хорошие результаты у второго метода Квина и метода Маклеода по пяти точкам. Однако, преимуществом метода Маклеода является более простая реализация алгоритма, в отличие от метода Квина.

На рисунке 5 представлены графики зависимости дисперсии при оценке амплитуды гармоники напряжения от уровня шума.

На рисунке 6 представлены графики зависимостей дисперсии при оценке фазы гармоник напряжения от уровня шума.

При определении амплитуды и фазы гармоник напряжения рекомендуется использовать модернизированный метод корреляционных функций, потому что точность интерполяционных методов ниже.

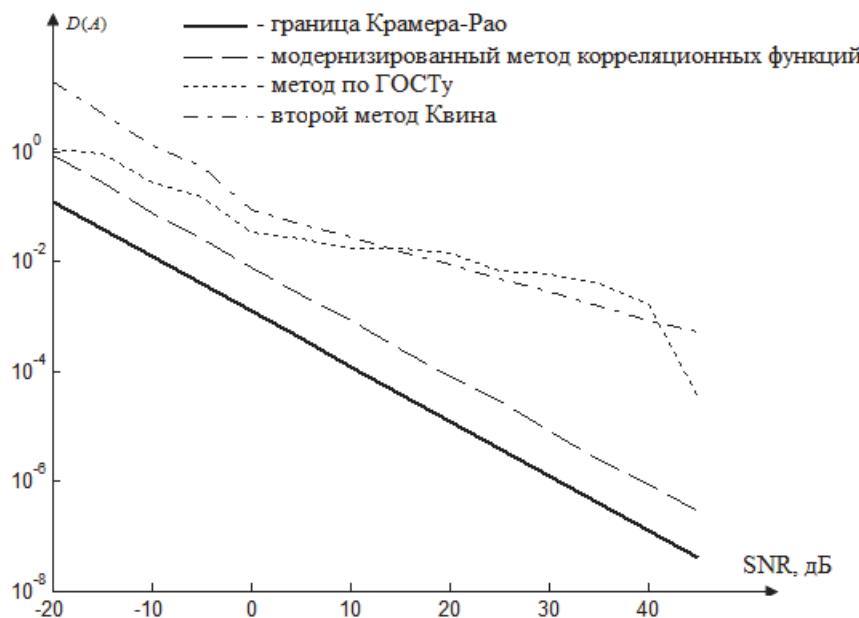


Рисунок 5 – Дисперсия при оценке амплитуды гармоник напряжения от уровня шума

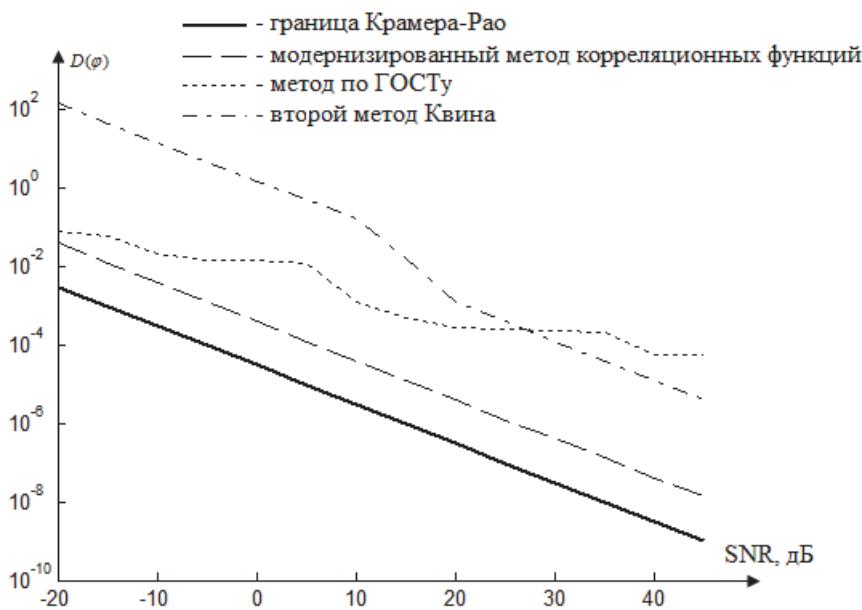


Рисунок 6 – Дисперсия при оценке фазы гармоник напряжения от уровня шума

Выводы:

– Рассмотрены алгоритмы оценки спектральных составляющих напряжения, позволяющие оценить показатели несинусоидальности напряжения. В качестве алгоритмов были выбраны интерполяционные методы, метод по ГОСТу и метод корреляционных функций. Алгоритмы, описывающие оценки спектральных составляющих напряжения, были изучены в среде пакета Matlab.

– На основании исследования существующих методов по определению частоты напряжения при малом уровне шумов (значение SNR от 30 дБ) доказано, что все методы показали достаточно высокую точность. Учитывая высокую вычислительную сложность метода корреляционных функций в данном случае предпочтительней применять интерполяционные методы. При повышении уровня шума погрешность интерполяционных методов значительно возрастает и, на определенном уровне, данные методы перестают работать. В этом случае необходимо использовать метод корреляционных функций.

– Оценку гармонических составляющих напряжения лучше производить модернизированным методом корреляционных функций, потому что он обеспечивает точность оценки параметров, наиболее близкую к теоретической (нижняя граница Крамера-Рао).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: алгоритм, оценка спектра, напряжение

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Палаускин Борис Владимирович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Дёмин Юрий Васильевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Елизаров Дмитрий Александрович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

Алаев Евгений Георгиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Власов Илья Леонидович, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Герасименко Андрей Сергеевич, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «НГАВТ»

630099, г. Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ИЗМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ИНВЕРТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

А.А. Бакланов, В.О. Мельк, Н.В. Есин

CHANGING THE ALTERNATING CURRENT LOCOMOTIVE RECTIFIER INVERTER CONVERTER OPERATION ALGORITHM

Omsk state transport university

A.Al. Baklanov, V.O. Melk, N.V. Esin

The article deals with changing the alternating current locomotive rectifier inverter converter arms operation algorithm in order to provide separate voltage control for the traction motors while retaining the single centralized control over all electric locomotives' converters.

Keywords: alternating current locomotive, rectifier-inverter convert, control algorithm of the power thyristors

Предлагается изменение алгоритма работы плеч выпрямительно-инверторного преобразователя электровоза переменного тока с целью индивидуального регулирования напряжения на тяговых двигателях при сохранении единой централизованной системы управления всеми преобразователями электровоза.

На сети дорог ОАО «РЖД» широко эксплуатируются электровозы переменного тока 2ЭС5К, ЭП1, ВЛ80Р, ВЛ85 и ВЛ65. На них применено зонно-фазовое регулирование напряжения на тяговых двигателях с помощью управляемых выпрямительно-инверторных преобразователей (ВИП) [1, 2].

Преобразователь таких электровозов состоит из восьми плеч силовых тиристоров, подключенных к вторичным обмоткам тягового трансформатора (рисунок 1).

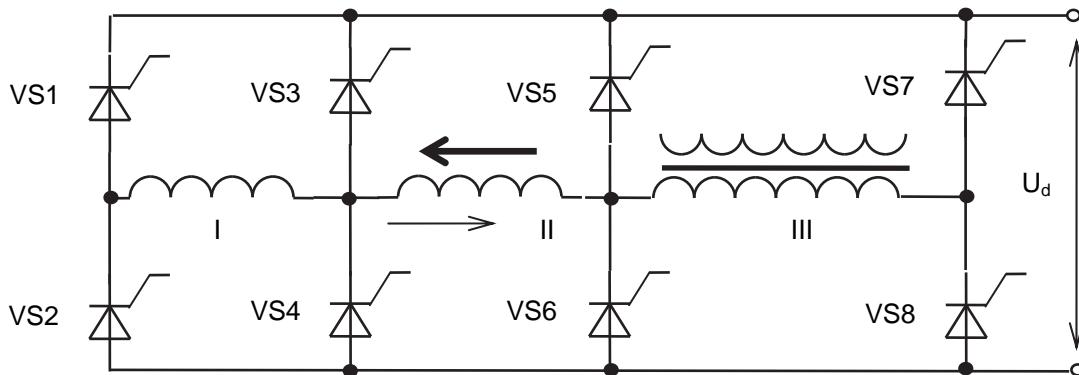


Рисунок 1 – Схема выпрямительно-инверторного преобразователя электровоза

Управление всеми ВИПами электровоза осуществляется блок управления выпрямительно-инверторными преобразователями (БУВИП): он выдает в системы формирования импульсов (СФИ) ВИП управляющие импульсы α_i , α_{i_c} , α_δ в соответствии с таблицей (первый полупериод соответствует тонкой стрелке на рисунке 1, а второй – более толстой стрелке).

В итоге на выходе ВИП формируется выходное напряжение, представленное на рисунке 2. (первая и вторая зоны).

Таблица – Алгоритм работы системы БУВИП

Номер полупериода	Номера плеч ВИП и выходных усилителей							
	VS1	VS2	VS3	VS4	VS5	VS6	VS7	VS8
I	1				α_p	α_o, α_p		
	2			α_o			α_p	
II	1		α_p		α_{o3}	α_o		
	2	α_p		α_{o3}			α_o	
III	1				α_p		α_{o3}	α_o
	2			α_p		α_{o3}		α_o
IV	1		α_p		α_{o3}			α_o
	2	α_p		α_{o3}				α_o

При этом среднее значение выпрямленного напряжения определяется формулами:

– для первой зоны

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_p}^{\pi + \alpha_o} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} (\cos \alpha_o + \cos \alpha_p); \quad (1)$$

– для второй зоны

$$U_d = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_{o3}}^{\alpha_p} U_m \sin \omega t d\omega t + \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_p}^{\pi + \alpha_o} 2U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{\pi} (2\cos \alpha_o + \cos \alpha_p + \cos \alpha_{o3}), \quad (2)$$

где U_m – амплитудное значение напряжения малой (секция I на рисунке 1) обмотки трансформатора, В.

В то же время, имеется возможность изменения алгоритма работы силовыми тиристорами с целью регулирования напряжения на тяговых двигателях индивидуально по каждому ВИП, без изменения фазы угла открытия силовых тиристоров, заданной общей системой управления БУВИП.

Этого можно достичь путем незначительного изменения алгоритма управления выходными каскадами усилителей системы управления преобразователем, принадлежность которых конкретна для каждого из пары двигателей. При сохранении групповых систем питания и зонно-фазового принципа управления тяговым электроприводом всего электровоза удается индивидуализировать выдачу сигнала открытия плача выпрямителя соответствующей пары двигателей, а при незначительном усовершенствовании – и для каждого из двигателей. В последнем случае снижение усилия тяги локомотива соответствует приблизительно 1/8 или 1/12 части общего усилия.

Изменение алгоритма управления заключается в прицельном формировании сигнала запрета на

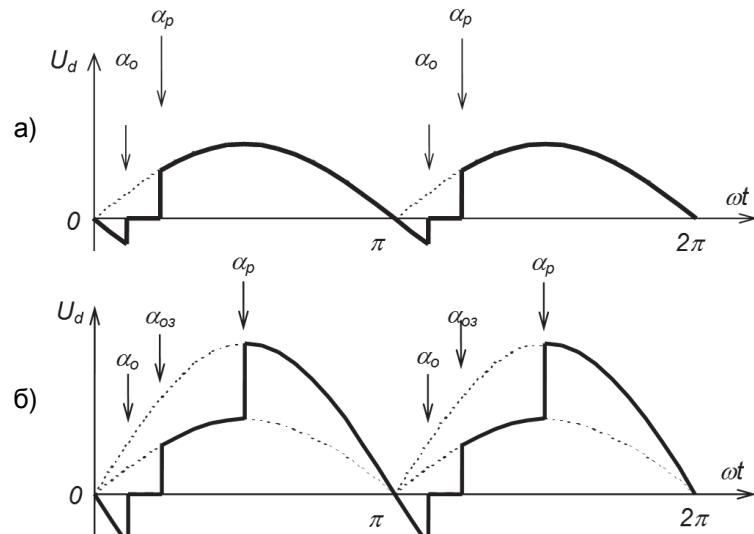


Рисунок 2 – Диаграммы выпрямленного напряжения на выходе ВИП: а)-на первой зоне регулирования; б)- на второй зоне регулирования

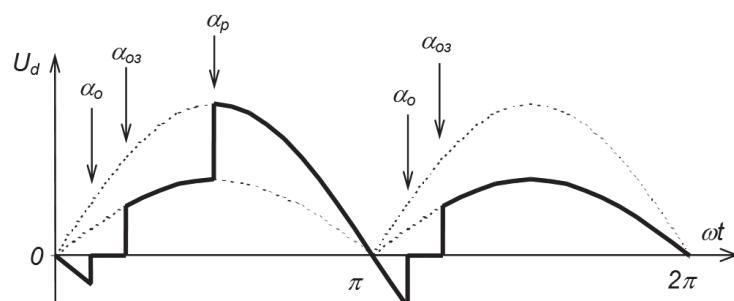


Рисунок 3 – Диаграмма выпрямленного напряжения на выходе ВИП при блокировании импульса α_p во втором полупериоде

выдачу управляющего импульса для открытия соответствующих тиристоров, то есть в искусственном пропуске полуволны выпрямленного напряжения. Напряжение в контактной сети имеет частоту 50 Гц, следовательно, в промежутке времени, равном одной секунде, укладывается при выпрямлении 100 полупериодов выпрямленного напряжения. Отсутствие одной полуволны напряжения в течение одной секунды снижает напряжение примерно на 1%. Формированием соответствующего алгоритма для выходных устройств управления выпрямительно-инверторными преобразователями имеется возможность убирать любое число полупериодов выпрямленного напряжения, запрещая подачу импульсов на управляющие электроды тиристоров, работающих в тех полупериодах, которые необходимо убрать. Этот принцип поясняет диаграмма измененного (по сравнению с рисунком 2б) выпрямленного напряжения второй зоны, показанная на рисунке 3.

Как видно из данной диаграммы, каждый второй полупериод исчезает добавка напряжения, вносимая данной зоной.

Среднее значение выпрямленного напряжения при этом можно определить по формуле

$$U_d = \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_{03}}^{\alpha_p} U_m \sin \omega t d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_p}^{\pi+\alpha_0} 2U_m \sin \omega t d\omega t + \frac{1}{2\pi} \int_{\alpha_{03}}^{\pi+\alpha_0} U_m \sin \omega t d\omega t = \frac{U_m}{2\pi} (\cos \alpha_p + 3 \cos \alpha_0 + 2 \cos \alpha_{03}). \quad (3)$$

При этом происходит снижение среднего значения выпрямленного напряжения по сравнению с таким же напряжением, но при отсутствии блокировки импульсов α_δ .

Таким образом, не отпирая соответствующие тиристоры в определенные полупериоды питающего напряжения, можно снизить подведенное напряжение к колесно-моторным блокам, питающимся от одного ВИП. Это может быть полезным, например, для борьбы с боксированием колесных пар электровоза. Предложенный способ дает возможность снижать питающее напряжение на любую величину, а rationalальной последовательностью пропускаемых полупериодов добиться малозаметного влияния на работу тягового двигателя в целом.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Электровоз ВЛ80Р: рук. по эксплуатации / под ред. Б.А. Тушканова. -М.: Транспорт, 1985. -541 с.
- 2 Электровоз ВЛ85: рук. по эксплуатации / Б.А. Тушканов [и др.]. -М.: Транспорт, 1992. -480 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электровоз переменного тока, выпрямительно-инверторный преобразователь, алгоритм управления силовыми тиристорами

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Бакланов Александр Алексеевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Мельк Владимир Оскарович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
Есин Николай Васильевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный университет путей сообщения»

Ю.В. Москалев, Л.Е. Серкова

DEFINING THE PARAMETERS OF AN ENERGY STORAGE DEVICE FOR ENERGY EFFICIENCY ELECTRICAL LOADS OF RAILWAY

Omsk state transport university
Yu.V. Moskalev, L.E. Serkova

The article describes a method for increasing the energy efficiency of electrical loads using energy storage. The calculated expression and criteria that can be used in the design and feasibility study of efficiency of introduction of a stationary energy storage device for managing schedules of railway electric loads.

Keywords: energy storage, enterprises of railway, modeling

Рассмотрен способ повышения энергетической эффективности железнодорожных потребителей электроэнергии с использованием накопителей энергии. Приведены расчетные выражения и критерии, которые могут быть использованы при проектировании и технико-экономическом обосновании эффективности внедрения стационарного накопителя энергии для управления графиками электрических нагрузок железнодорожных потребителей.

Основной целью Энергетической стратегии ОАО «РЖД» является повышение энергетической эффективности обществ, входящих в состав компании [1]. Одной из составляющей энергетической эффективности является снижение расхода электроэнергии. Перспективным техническим средством для снижения расхода электрической энергии на тягу поездов и в стационарной энергетике является накопитель энергии (НЭ).

Управление графиками нагрузок тяговых подстанций и стационарных железнодорожных потребителей (локомотивных, вагонных депо) с использованием НЭ позволит получить ряд технических эффектов, среди которых снижение потерь электроэнергии, уменьшение колебаний и отклонений напряжения, резервирование электроснабжения и т.д.

В этом случае НЭ должен иметь большую энергоемкость и мощность в сравнении со штатными аккумуляторами, установленными на электростанциях, подстанциях, подвижном составе. Можно отметить, что для сохранения избыточной энергии рекуперации ЭПС грузового поезда массой 6400 тонн необходим НЭ с мощностью 7,5 МВт, энергоемкостью 50-100 кВт·ч и более [2], или для стационарного устройства в системе тягового электроснабжения постоянного тока эти показатели 40-70 кВт·ч и 1,5-3 МВт [3].

В настоящее время существует множество технологий накопления энергии в различном виде (механическая, тепловая, энергия электрического, магнитного поля и др.), каждая из которых имеет свои достоинства и недостатки [4].

Рассмотрим подход, позволяющий определять энергоемкость и мощность трехфазного НЭ, предназначенного для управления графиком трехфазного потребителя электроэнергии. В качестве примера рассмотрим схему электроснабжения локомотивного депо с НЭ (рисунок 1) и типичный суточный график активной и реактивной мощности с усреднением один час (рисунок 2).

В четырехпроводной трехфазной сети минимизация потерь мощности предполагает одновременное снижение несимметрии и уставновившегося отключения напряжения, так как минимум потерь будет в случае протекания только активных составляющих токов прямой последовательности, а также выравнивание графика нагрузок фаз.

Принятые допущения: рассматривается только основная частота; питающее напряжение содержит только прямую последовательность с действующим значением 220 В; параметры трансформатора и кабельной линии постоянны; для случайных нестационарных процессов потребления мощностей в расчете рассматривается только изменение математического ожидания (рисунок 2), КПД накопителя равно единице.

Проводимости распределительного трансформатора ТМ-1000/10 (рисунок 1), приведенные к обмотке низкого напряжения, приняты (25,8 – j110,7) См, проводимость для токов нулевой последовательности принята на 10% меньше проводимости фазы. Проводимости фаз

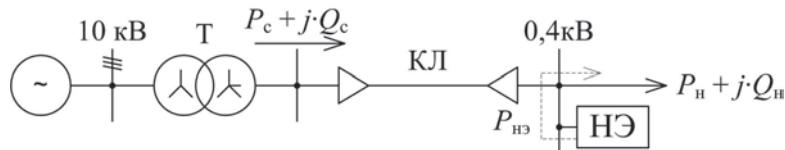


Рисунок 1 – Расчетная схема: Т-распределительный трансформатор; КЛ-кабельная линия; НЭ-трехфазный накопитель энергии

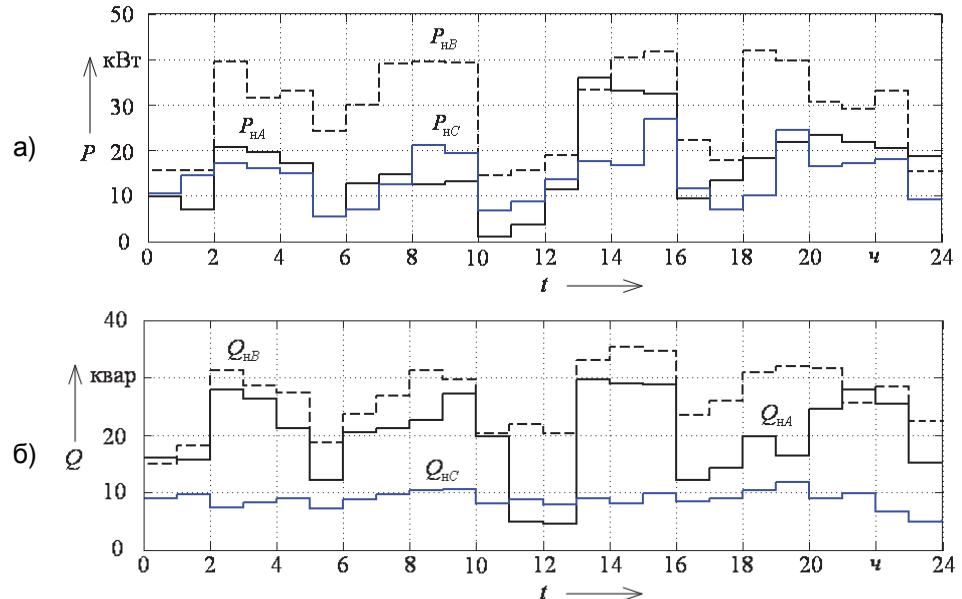


Рисунок 2 – Математические ожидания случайных процессов потребления активной (а) и реактивной (б) мощности за сутки

КЛ с алюминиевыми жилами: (94,2 – j29,2) См. Расчет токораспределения в трехфазной сети был выполнен методом узловых потенциалов.

За сутки предприятие потребляет 1440 кВт·ч электроэнергии, расчетные нагрузочные потери в элементах системы электроснабжения составляют 21,7 кВт·ч, что соответствует 1,5%.

Необходимо определить энергоемкость и мощность трехфазного НЭ, а также законы изменения потребляемой и генерируемой активной (реактивной) мощности по фазам, при которых потери мощности в сети за сутки будут минимальны (критерий минимум потерь активной мощности)

$$\Delta P = \sum_{t=1}^{24} \sum_{i=1}^N R_i I_{i,t}^2 \rightarrow \min, \quad (1)$$

где $I_{i,t}$ – действующие значения токов в элементах электрической сети в момент времени t , А;

R_i – активные сопротивления элементов электрической сети, Ом;

N – количество ветвей распределительной сети (ветви 1-8 на рисунке 3).

Оптимизация выполняется при условии, что сумма запасенной и возвращенной активной энергии накопителем за рассматриваемый интервал времени (24 ч) равна нулю

$$\sum_{i=1}^{24} (P_{\text{НЭ},i} t_i + P_{\text{НЭ},i} t_i + P_{\text{НЭ},i} t_i) = 0. \quad (2)$$

Для решения оптимизационной задачи использован численный метод Хука-Дживса [5], позволяющий определять оптимум многомерной целевой функции (1).

Ограничение в виде линейного равенства (2) учитывается следующим образом: уравнение (2) разрешается относительно одной из переменных, полученное выражение подставляется в целевую функцию. Таким образом, размерность целевой функции уменьшается, и решение задачи выполняется методом безусловной оптимизации.

Определение энергоемкости и мощности НЭ с использованием критерия «Минимум потерь активной мощности» (1) позволит реализовать график потребления активной мощности из системы внешнего электроснабжения с неизменной мощностью по трем фазам. В этом случае потери электроэнергии в элементах системы электроснабжения железнодорожных потребителей от передачи активной мощности будут наименьшими. На рисунке 3 показаны графики изменения активной мощности каждой фазы НЭ. Положительные значения активной мощности соответствуют режиму заряда, отрицательные – режиму разряда НЭ.

Законы изменения активных мощностей фаз НЭ, при которых потребление активной мощности из системы внешнего электроснабжения будет с неизменной и одинаковой мощностью по фазам, можно также определить по выражениям:

$$P_{\text{НЭ},A}(t) = \frac{1}{3T} \left(\int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt \right) - P_{\text{НЭ}}(t); \quad (3)$$

$$P_{\text{НЭ},B}(t) = \frac{1}{3T} \left(\int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt \right) - P_{\text{НЭ}}(t); \quad (4)$$

$$P_{\text{НЭ},C}(t) = \frac{1}{3T} \left(\int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt + \int_0^T P_{\text{НЭ}}(t) dt \right) - P_{\text{НЭ}}(t), \quad (5)$$

где T – рассматриваемый интервал времени, ч.

Для рассматриваемого примера потребляемая мощность будет одинаковая по фазам и равна 20 кВт. Законы изменения активной мощности, рассчитанные по выражениям (3)-(5), соответствуют законам, полученным в результате решения оптимизационной задачи (рисунок 3).

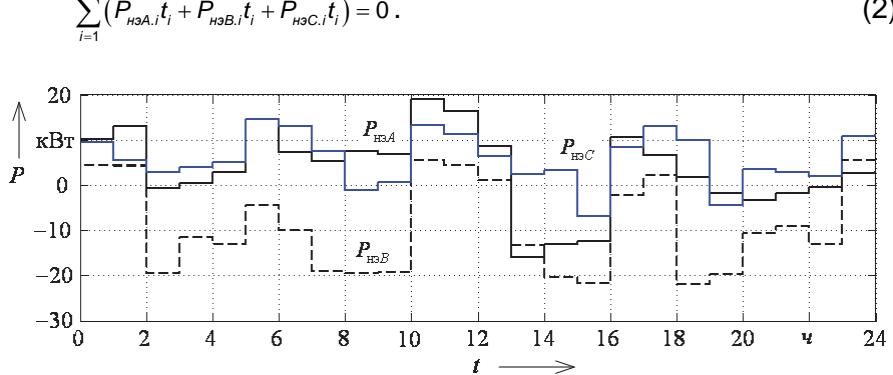


Рисунок 3 – Суточный график активной мощности НЭ

Энергоемкость НЭ должна быть определена с учетом того, что интервалы времени заряда (разряда) имеют различную длительность, в случае нескольких последовательно идущих интервалов заряда (разряда) запасаемая энергия будет равна сумме энергии каждого интервала (рисунок 3). Для реализации заданного закона изменения потребляемой (генерируемой) активной мощности необходим НЭ с энергоемкостью 107 кВт·ч и мощностью в режиме заряда 38 кВт, разряда – 41 кВт.

Как известно, посредством изменения алгоритмов управления полупроводниковыми ключами можно обеспечить любые режимы работы четырехквадрантного преобразователя, то есть получить управляемые по требуемому закону источники тока или напряжения [6]. Таким образом, можно реализовать необходимый закон изменения реактивной мощности каждой фазы НЭ, при котором потребление реактивной мощности из сети будет равно нулю (рисунок 4).

На рисунке 5 для рассматриваемого примера приведены графики изменения потерь активной мощности в элементах системы электроснабжения (трансформатор и кабельная линия) с использованием и без НЭ.

Нагрузочные потери энергии за сутки с НЭ будут равны 7,14 кВт·ч, что составляет 0,5% от потребляемой за сутки электроэнергии. Таким образом, нагрузочные потери электроэнергии будут снижены на 67%.

В качестве емкого НЭ может быть использованы современные химические источники тока, которые имеют высокий КПД и значительный ресурс.

Приведенные результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

- Управление сетевыми графиками нагрузок железнодорожных потребителей позволяет снизить потери и улучшить качество электроэнергии, экономический эффект также может быть получен за счет снижения затрат на электроэнергию при выравнивании или смещении нагрузки потребителя в зону минимальной нагрузки системы электроснабжения.

– Предложенный подход позволяет определить энергоемкость и мощность трехфазного НЭ, необходимые для управления графиком активной мощности железнодорожного потребителя, а также интервалы времени, где необходимо заряжать и разряжать устройство.

– Генерация активной и реактивной мощности обеспечивается заданием необходимых законов управления ключами полупроводникового преобразователя, обеспечивающего согласование работы НЭ и трехфазной сети переменного тока промышленной частоты.

– Для снижения нагрузочных потерь на 67% в элементах системы электроснабжения рассматриваемого примера необходим НЭ с энергоемкостью 107 кВт·ч и мощностью 38 кВт в режиме заряда и мощностью 41 кВт в режиме разряда.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гапанович, В.А. Энергетическая стратегия и электрификация российских железных дорог / В.А. Гапанович, С.Н. Епифанцев, В.А. Овсянчук; под ред. Г.П. Кутового. -М.: Эко-Пресс, 2012. -196 с.
- 2 Авилов, В.Д. Определение энергоемкости накопителя энергии для грузового электровоза постоянного тока с использованием имитационного моделирования / В.Д. Авилов, Ю.В. Москалев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2013. -№2. -С. 306-310.
- 3 Москалев, Ю.В. Повышение энергоэффективности системы тягового электроснабжения постоянного тока железных дорог с применением накопителей энергии / Ю.В. Москалев, М.А. Карабанов // Изв. Транссиба. -Омск, 2013. -№2(14). -С. 51-58.

- 4 Huggins, R. Energy Storage / R. Huggins. -Springer, 2010. -400 p.
5 Банди, Б. Методы оптимизации. Вводный курс / Б. Банди. -М.: Радио и связь, 1988. -128 с.
6 Электрические и электронные аппараты. В 2 т. Т. 2. Силовые электронные аппараты / А.П. Бурман [и др.]; под ред. Ю.К. Розанова. -М.: Академия, 2010. -320 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: накопитель энергии, железнодорожные предприятия, математическая модель
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Москалев Юрий Владимирович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Серкова Любовь Ефимовна, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»
644046, г.Омск, пр.К.Маркса, 35, ФГБОУ ВПО «ОмГУПС»

УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ПУСКА МОЩНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ

Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал
ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы»

Н.В. Петров

IMPROVEMENT OF STARTING CONDITIONS OF HIGH POWER ASYNCHRONOUS MOTORS AT LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES

Siberian research institute of power engineering, branch of Scientific and technical center of the Federal grid company of unified energy system
N.V. Petrov

The paper considers ways to improve starting conditions of high-power asynchronous motors. Natural oscilloscope trace of 2,8MW asynchronous motor starting is shown. In order to decrease voltage dip during the starting time and to reduce the time required for achievement of motor rated speed use of capacitor batteries is proposed. Computed oscilloscope traces where the effectiveness of capacitor batteries application for asynchronous motor starting process improvement and technological limits removing are shown.

Keywords: asynchronous motor, capacitor battery, voltage dip, acceleration engine, reactive power compensation

Рассмотрены способы улучшения условий пуска мощного асинхронного двигателя. Приведена натурная осциллограмма пуска асинхронного двигателя 2,8 МВт. Для снижения провала напряжения во время пуска, а также для снижения времени, требуемого для достижения двигателем номинальной скорости, предложено применение конденсаторных батарей. Приведены расчетные осциллограммы, на которых отражена эффективность применения конденсаторных батарей для улучшения условий пуска асинхронного двигателя и снятия технологических ограничений.

Система электроснабжения предприятия имеет ряд проблем по составу и эксплуатационным характеристикам основного электротехнического оборудования, по структуре и организации режимов.

Одна из актуальных проблем – глубокие провалы напряжения во время прямых пусков двигателей большой мощности (до нескольких мегаватт) и, соответственно, затянутое до неприемлемых значений время его разгона двигателя. Другая проблема, непосредственно связанная с первой – отсутствие технических возможностей управлять в желаемых пределах потребляемой реактивной мощностью на входе системы электроснабжения предприятия. Укрупненно система электроснабжения предприятия представлена на рисунке 1.

На заводе эксплуатируется большой парк электродвигателей мощностью в сотни и тысячи киловатт. Большинство из них пускаются методом прямого пуска. Трансформаторные подстанции (ТП 6 кВ), к которым подключены мощные двигатели, находятся на значительном расстоянии от главной понижающей подстанции (ГПП 110/6 кВ).

Пуск двигателя в указанных условиях представляет собой серьёзную задачу, обусловленную значительным провалом напряжения на шинах двигателей и затягиванием времени разгона двигателя. Во время пуска двигатель потребляет от сети пусковой ток, который в 5-10 раз больше значения номинального. Большой пусковой ток может создать опасные электродинамические усилия в обмотке статора и обмотке ротора. В пусковом режиме возрастают потери на нагрев обмоток, что может привести к их перегреву и повреждению изоляции [1]. Время пуска двигателя ограничивается также требованиями технологического процесса

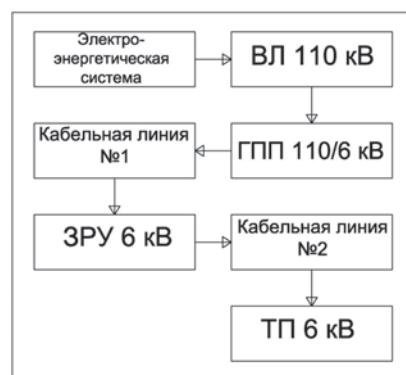


Рисунок 1 – Блок-схема электроснабжения предприятия

приводимого во вращение оборудования. Увеличение времени запуска сверх допустимого, может привести к разрушению приводимых механизмов, поэтому затяжные пуски прерываются действием персонала.

Снижение уровня напряжения в сети скажется на режиме работы других электрических машин промышленного предприятия. Так при снижении напряжения на зажимах асинхронного двигателя снижается электромагнитный момент, увеличивается потребляемый от сети ток, что влечёт разогрев обмоток и снижение срока службы двигателя. Возникновение значительных провалов напряжения, связанных, например, с пуском мощных асинхронных двигателей, может привести к нарушению режима работы всего предприятия в целом, что может повлечь за собой брак производимой продукции и потери сырья.

Известны способы пуска двигателей, предотвращающие падение напряжения в системе электроснабжения. Для этого применяют реакторный пуск (последовательно с двигателем на время пуска подключается пусковой реактор), автотрансформаторный пуск (последовательно с двигателем на время пуска подключается автотрансформатор) [1]. Однако, в этих способах пуска пропорционально квадрату напряжения на зажимах обмотки статора или квадрату тока двигателя, понижается пусковой момент. Этот факт приводит к увеличению времени необходимого на разгон двигателя, и для решения данной задачи пуск на пониженном напряжении не подходит.

На рисунке 2 представлена натурная осциллограмма изменения величины фазного напряжения в процессе пуска асинхронного двигателя мощностью 2,8 МВт. Номинальное напряжение двигателя 6 кВ. Время запуска при прямом способе пуска около 14 с. По условиям технологического процесса промышленного предприятия время пуска не должно превышать 10 с.

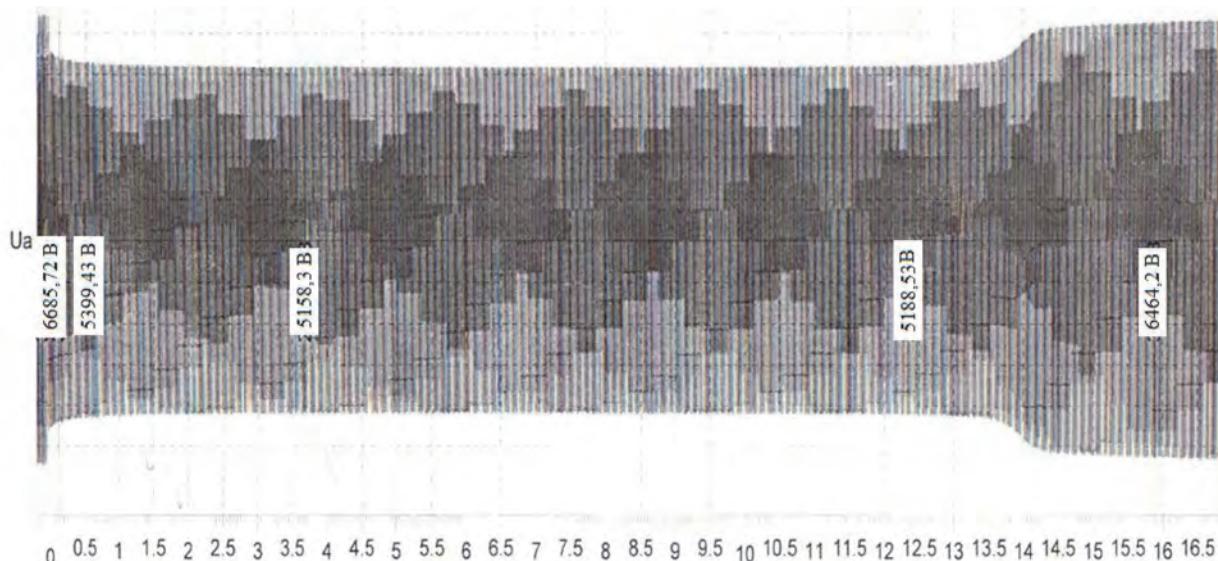


Рисунок 2 – Натурная осциллограмма процесса пуска исследуемого асинхронного двигателя.

Для снижения провала напряжения и сокращения времени, необходимого для пуска асинхронного двигателя, могут быть использованы конденсаторные батареи, используемые для компенсации реактивной мощности (КРМ). Применение КРМ позволяет: разгрузить от реактивного тока распределительные сети, трансформаторы и генераторы, снизить потери мощности и падение напряжения в элементах систем электроснабжения, сократить расходы на электроэнергию, ограничить влияние высших гармоник и сетевых помех, уменьшить асимметрию фаз, регулировать коэффициент мощности предприятия в широких пределах.

Существуют устройства на основе преобразователей напряжения, которые также могут снизить провал напряжения при пуске асинхронного двигателя. Динамический компенсатор искажений напряжения (ДКИН) – изделие, позволяющее решать весь комплекс проблем, связанных как с качеством электрической энергии, так и с провалами и просадками (до трёх секунд) напряжения, перенапряжения в питающих и распределительных сетях. ДКИН представляет собой преобразователь напряжения с пофазным управлением на базе полностью управляемых выпрямителей [2]. В то же время ДКИН является более дорогим и сложным в эксплуатации устройством.

На рисунках 3 и 4 представлены расчётные осциллограммы пуска асинхронного двигателя без применения КРМ. Расчёты были проведены с помощью программы «Mustang». Включение двигателя происходит через 2 с после начала расчёта.

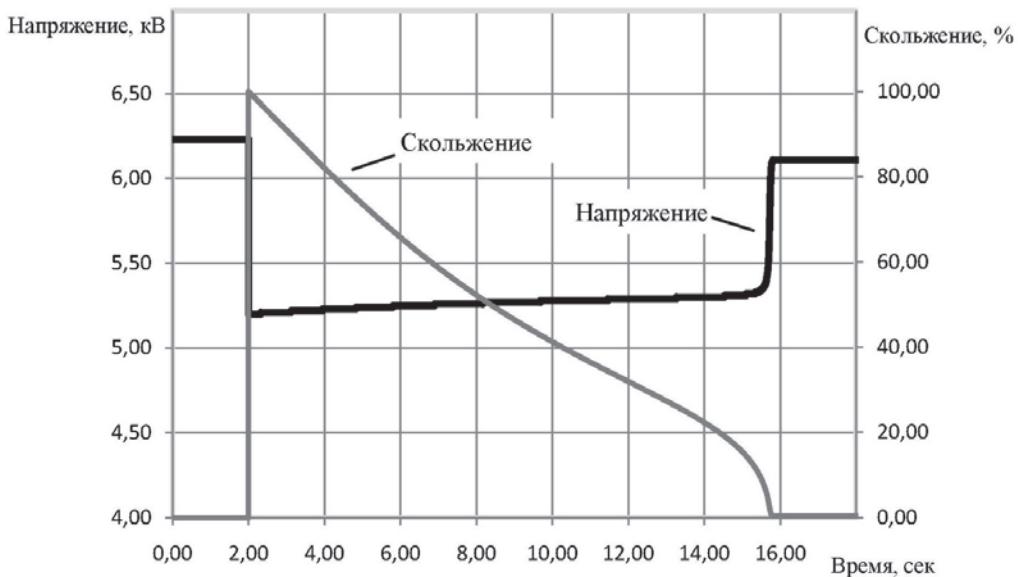


Рисунок 3 – Расчётная осциллограмма пуска асинхронного двигателя без применения КРМ

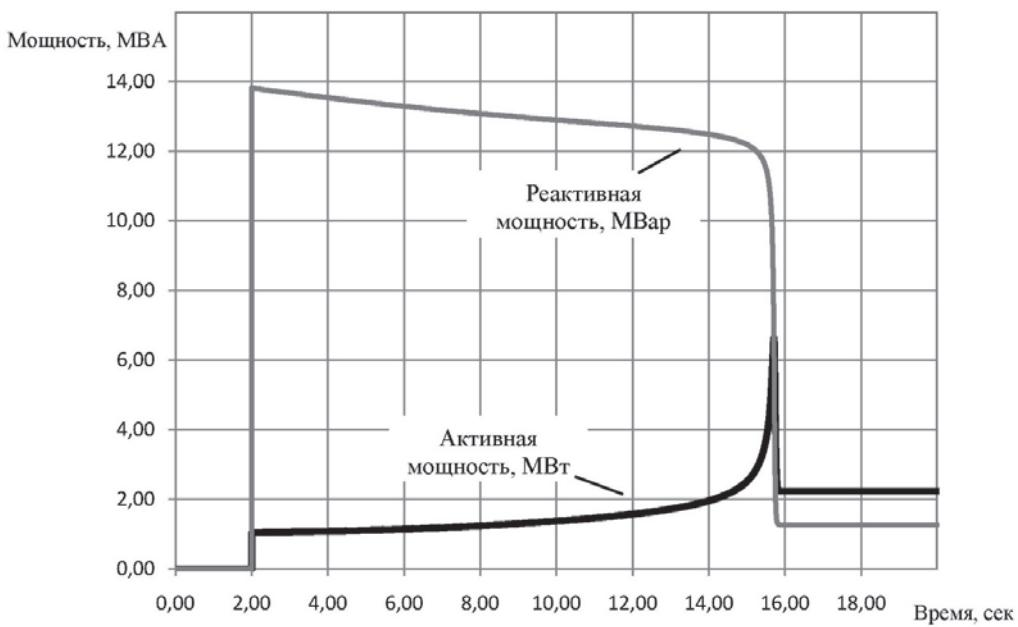


Рисунок 4 – Расчётная осциллограмма пуска асинхронного двигателя без применения КРМ

Конденсаторные батареи должны подключаться непосредственно в момент включения двигателя в сеть или с небольшой задержкой, когда уровень напряжения существенно снижен. Включение батарей на нормальное напряжение сети может привести к превышению наибольшего рабочего напряжения. Отключение батарей после пуска двигателя должно осуществляться автоматикой по факту превышения заданной уставки по напряжению, после разгона двигателя до нормальной рабочей скорости.

На рисунке 5 и 6 представлены расчётные осциллограммы пуска асинхронного двигателя с применением конденсаторных батарей, которые подключаются на время пуска двигателя, с небольшой задержкой по времени. После разгона двигателя батареи отключались по факту превышения уставки напряжения. Включение двигателя происходит через 2 с после начала расчёта.

Сопоставление осциллограмм пусков показывает, что подключение конденсаторных ба-

тарей позволяет сократить время пуска двигателя (в рассматриваемом примере – с 14 с до 9,5 с). При пониженном напряжении снижается эффективность конденсаторных батарей, следовательно, требуется установка батарей большой мощности, либо каскада из батарей малой мощности. Это приведёт к большим капитальным затратам и, как следствие, долгой окупаемости данной установки. С другой стороны применение конденсаторных батарей как устройства компенсации реактивной мощности также позволит снизить общие затраты предприятия на электроэнергию и избежать штрафов за снижение качества электроэнергии пониженным коэффициентом мощности. Так для обеспечения требуемого времени пуска асинхронного двигателя потребовалась установка конденсаторных батарей общей мощностью 9,5 МВар. Для снижения потребляемой реактивной мощности по заводу в целом, в работе должны находиться конденсаторные батареи общей мощностью 3,2 МВАр.

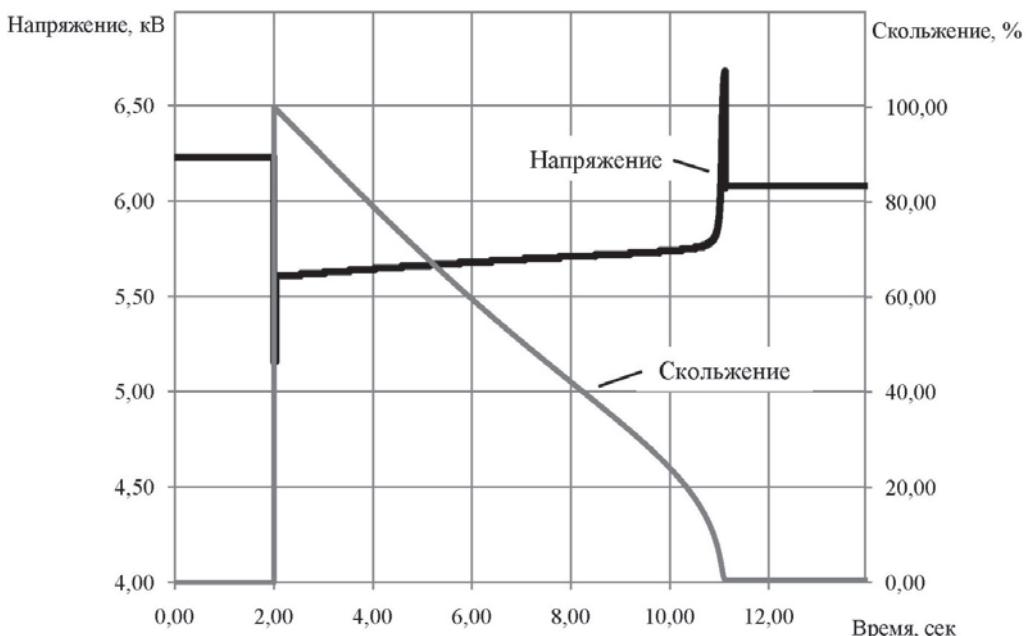


Рисунок 5 – Расчётная осцилограмма пуска асинхронного двигателя с применением КРМ

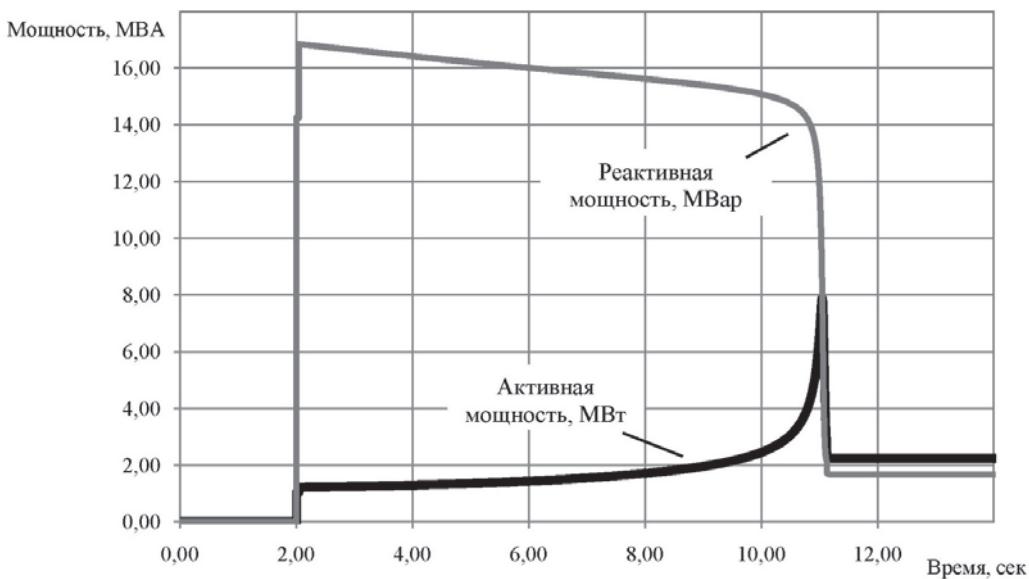


Рисунок 6 – Расчётная осцилограмма пуска асинхронного двигателя с применением КРМ

Выводы:

- Переход от плановой к конкурентной экономике привел к изменениям в работе промышленных предприятий: загрузки основного оборудования, графиков и объемов выпускаемой продукции. Следствием перемен является изменение режимов работы электротехничес-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

ского оборудования и требований к этим режимам, требований к построению схемы электроснабжения предприятий.

– Кардинальная перестройка системы электроснабжения связана с существенными затратами и практически невозможна. Необходимость соответствовать новым условиям приводит к поискам нетрадиционных решений известных электроэнергетических задач.

– Одним из возможных решений задачи снижения времени пуска крупных двигателей является применение статических конденсаторов, подключаемых на время пуска. Конденсаторы также целесообразно использовать для поддержания коэффициента мощности предприятия на требуемом уровне.

– Для сокращения времени пуска на предприятии предложено применять нерегулируемые емкости, так как на данный момент они дешевле, проще в эксплуатации и надёжнее управляемых компенсаторов. Недостаток нерегулируемых емкостей в том, что в некоторых случаях их использование может привести к перекомпенсации, вследствие несбалансированного изменения коэффициента мощности предприятия.

– Существуют новые технические средства с преобразователями напряжения, которые позволяют изменять реактивную мощность, вырабатываемую конденсаторами, автоматически, без участия электротехнического персонала. Такие предложения устраниют ошибки персонала при переключениях, однако надежность и безаварийность их работы пока не подтверждена опытом длительной эксплуатации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Вольдек, А.И. Электрические машины: учеб. для студентов высш. техн. учеб. заведений / А.И. Вольдек. -3-е изд., перераб. -Л.: Энергия, 1978. -832 с.: ил.

2 Динамические компенсаторы искажений напряжения [Электронный ресурс]. -Режим доступа: URL: <http://npkpromir.com/index.php/production/2-dkin/> 5-dkin.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: асинхронный двигатель, конденсаторная батарея, провал напряжения, время разгона двигателя, компенсация реактивной мощности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Петров Николай Владимирович, инженер СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630126, г.Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ МОЩНОСТИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ

Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал
ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы»

Г.В. Рогов

UNIVERSAL MODEL OF POWER FLOW CONTROL DEVICES FOR STEADY-STATE REGIMES

Siberian research institute of power engineering, branch of Scientific and technical center
of the Federal grid company of unified energy system
G.V. Rogov

Different types of power flow control devices are considered. Steady-state regimes impact capability of the devices is described. Universal model of the devices is proposed.

Keywords: high-voltage direct current, unified power flow controller, thyristor controlled phase shifting transformer

Рассмотрены различные устройства управления потоками мощности в электрической сети. Охарактеризованы их возможности по воздействию на установившиеся режимы. Предложена универсальная математическая модель устройств.

Электрические сети имеют сложную многосвязную структуру с образованием замкнутых контуров и параллельных связей. Естественное распределение потоков мощности в электрических сетях часто оказывается неблагоприятным. Основными отрицательными последствиями неблагоприятного потокораспределения являются повышенные потери активной мощности в сети и токовая перегрузка отдельных элементов, как правило, линий электропередачи, работающих параллельно с линиями более высокого класса напряжения. В некоторых странах магистральная сеть разделена между несколькими собственниками. В этом случае возникает задача маршрутизации мощности по линиям в соответствии с их принадлежностью.

Активная мощность P и реактивная мощность Q , передаваемые по линии в простей-

шем случае определяются выражениями

$$P = \frac{U_1 U_2}{X} \sin \delta; Q = \frac{U_1 (U_1 - U_2 \cos \delta)}{X},$$

где U_1, U_2 – напряжения в начале и конце линии;

X – индуктивное сопротивление линии;

δ – угол между векторами напряжений в начале и конце линии.

Если в начале одной из двух параллельных линий установлено устройство, способное регулировать напряжение по модулю и фазе (рисунок 1), то возможно целенаправленное изменение активной и реактивной мощности в линии. Поэтому такие устройства могут быть названы устройствами управления потоками мощности (УУПМ). К ним относятся фазоповоротный трансформатор (ФПТ), объединенный регулятор потоков мощности (ОРПМ), вставка постоянного тока (ВПТ).

УУПМ функционируют в электроэнергетических системах некоторых стран, устанавливаются и предлагаются к установке в России. Это обуславливает необходимость проведения научно-исследовательских и проектных работ, направленных на выявление целесообразности применения УУПМ, выбора их мест размещения и номинальных параметров. В таких работах неизбежно возникает вопрос о моделировании УУПМ в расчетах установившихся режимов.

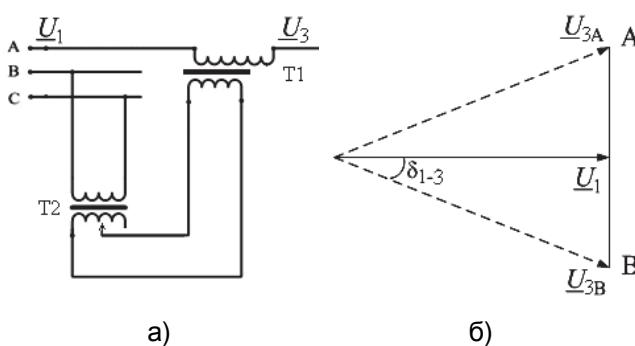


Рисунок 2 – Простейший ФПТ:
а)-принципиальная схема; б)-диапазон
регулирования

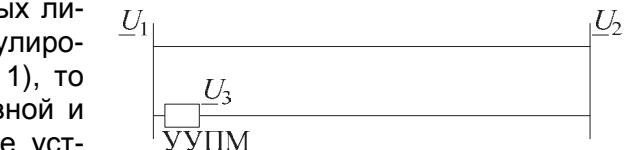


Рисунок 1 – УУПМ в линии
электропередачи

Простейший фазоповоротный трансформатор (рисунок 2а) воздействует на угловое положение вектора напряжения U_3 , создавая через последовательный трансформатор T_1 добавку напряжения, перпендикулярную вектору U_1 . Перпендикулярное положение добавки напряжения обеспечивается включением параллельного трансформатора T_2 на линейное напряжение. В результате действия ФПТ конец вектора U_3 на комплексной плоскости может быть перемещен в любую точку, лежащую на отрезке АВ (рисунок 2б). Длина отрезка АВ и максимальный угол поворота δ_{1-3} определяются

осуществимой добавкой напряжения, создаваемой через последовательный трансформатор.

Предлагаются более совершенные схемы ФПТ, называемые управляемыми трансформаторами (УТ) [1] или thyristor controlled phase shifting transformer [2] (рисунок 3а). Такие устройства имеют два вспомогательных трансформатора. Трансформатор T_1 включается на линейное напряжение и позволяет создавать перпендикулярную добавку напряжения. Трансформатор T_2 включается на фазное напряжение и обеспечивает возможность создания параллельной добавки напряжения. Тиристорные блоки ТБ1 и ТБ2 позволяют плавно регулировать величину добавки напряжения. УТ способен обеспечить нахождение конца вектора U_3 в любой точке внутри области, заштрихованной на рисунке 3 б. Длина отрезка АВ определяется параметрами устройств T_2 и ТБ2, длина отрезка ВС – параметрами устройств T_1 и ТБ1. Радиус изображенной окружности зависит от напряжения, на которое рассчитан последовательный трансформатор. В частном случае параметры УТ могут быть подобраны таким образом, чтобы окружность полностью находилась внутри прямоугольника ABCD.

ОРПМ содержит два преобразователя напряжения (ПН) с общей стороной постоянного тока. Один из ПН включается в линию последовательно, другой – параллельно (рисунок 4а). ОРПМ способен при заданном напряжении U_1 создавать вектор напряжения U_3 , конец которого лежит в любой точке внутри круга с центром в конце вектора U_1 . ОРПМ способен также

регулировать модуль напряжения U_1 за счет действия преобразователя ПН1. Изменение длины вектора U_1 вызывает перемещение круга, внутри которого может находиться конец вектора U_3 , поэтому, с учетом регулирования напряжения U_1 , диапазон возможных значений U_3 имеет сложную форму, показанную штриховкой на рисунке 4б.

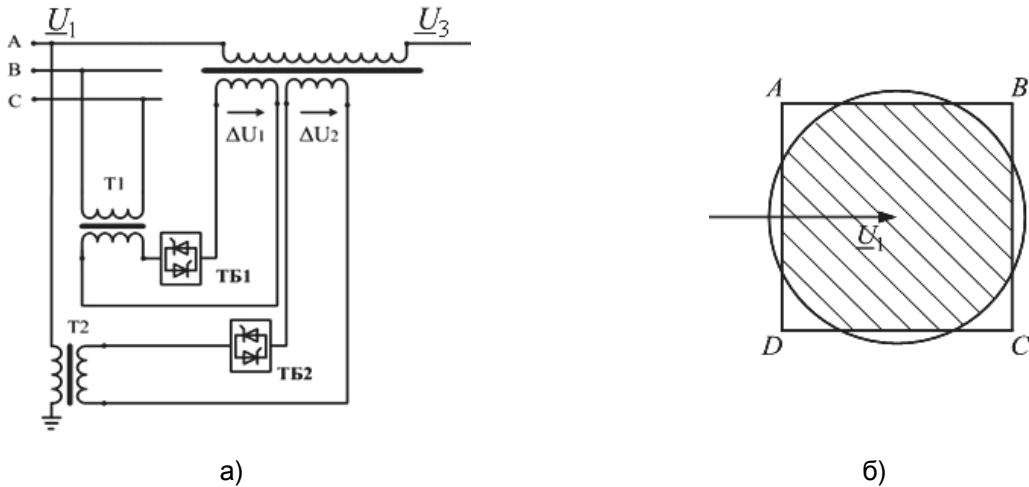


Рисунок 3 – Управляемый трансформатор: а)-принципиальная схема; б)-диапазон регулирования

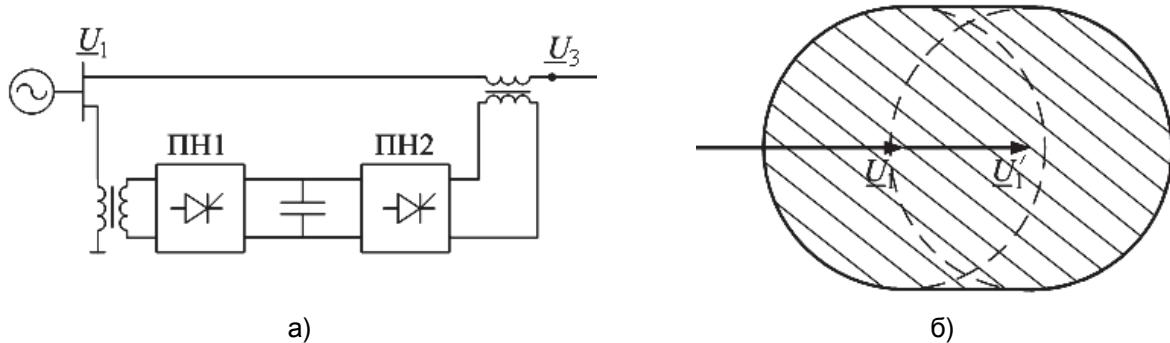


Рисунок 4 – ОРПМ: а)-принципиальная схема; б)-диапазон регулирования

ВПТ представляет собой звено постоянного тока, включенное последовательно в цепь переменного тока через ПН (рисунок 5а). В сеть высокого напряжения ВПТ включается через трансформаторы. В отличие от ФПТ и ОРПМ, ВПТ не имеет последовательного трансформатора, поэтому диапазон регулирования ВПТ не ограничивается предельной величиной добавки напряжения. Для ВПТ ограничения определяются только напряжением, создаваемым ПН, которые целесообразно рассчитывать на максимально допустимое напряжение сети (с учетом трансформации). Относительное расположение векторов U_1 и U_3 может быть практически любым. На рисунке 5б конец вектора U_3 может лежать в любой точке внутри заштрихованного круга.

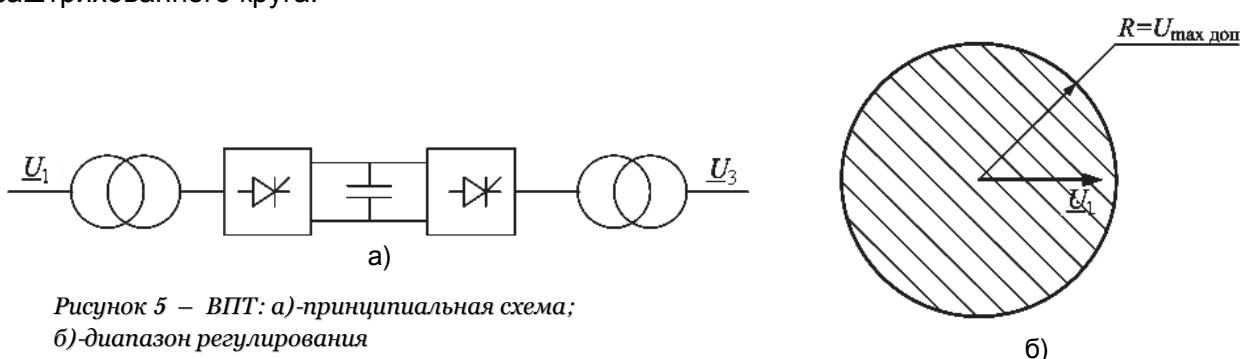


Рисунок 5 – ВПТ: а)-принципиальная схема; б)-диапазон регулирования

Выше показаны возможности УУПМ по регулированию напряжения. В действительности алгоритмы управления устройствами могут быть построены таким образом, чтобы регулируемыми величинами были, например, активная и реактивная мощность или активная мощ-

нность и модуль напряжения. Любой узел характеризуется четырьмя величинами: модулем напряжения U , фазой напряжения δ , активной мощностью P и реактивной мощностью Q . Зная две из этих величин, другие две можно определить в результате расчета режима. Поэтому регулирование комплекса напряжения и регулирование комплекса мощности – есть лишь разные грани одного и того же процесса.

Наиболее простой и удобной моделью УУПМ в установившихся режимах является модель в виде двух узлов с двумя заданными параметрами режима. Такая модель реализуема во всех широко используемых программных комплексах, например, Rastrwin или Mustang. Для того чтобы в установившемся режиме смоделировать УУПМ, установленное в линии, необходимо организовать в этой линии разрыв и создать узлы с обеих сторон разрыва (рисунок 6). Если не учитывать потери, то активные мощности по сторонам УУПМ равны, то есть активные мощности генераторных узлов должны задаваться равными по модулю и противоположными по знаку. Для учета потерь в элементах УУПМ, отрицательная активная мощность может задаваться большей по модулю, чем положительная.

Воздействие УУПМ на сеть многогранно, с помощью таких устройств можно добиваться различных целей. Гибкое управление, обеспечиваемое УУПМ, требует гибкого моделирования, и этому требованию в полной мере отвечает предложенная универсальная модель. В зависимости от решаемых задач и особенностей рассчитываемого режима, для узлов модели может задаваться любое из сочетаний $P-Q$, $P-U$ или $U-\delta$.

УУПМ разных типов обладают определенными различиями. В частности, ВПТ и ОРПМ способны как потреблять, так и выдавать реактивную мощность и регулировать величину напряжения по обе стороны от места установки. Управляемый трансформатор лишь пропускает реактивную мощность через себя, причем некоторая часть реактивной мощности расходуется на создание магнитного потока. Тем не менее, универсальная модель УУПМ позволяет в первом приближении оценить воздействие УУПМ любого типа и выбрать устройство, подходящее для решения поставленной задачи. Затем может быть произведен более точный учет конкретного устройства.

В практике проектирования существует традиция моделирования ФПТ или управляемого трансформатора комплексным коэффициентом трансформации. Во многих программно-вычислительных комплексах существует возможность создания комплексной трансформации, напряжения по сторонам которой в общем случае отличаются как по модулю, так и по фазе в соответствии со значением комплексного коэффициента трансформации $K_T = k_{T_a} + jk_{T_p}$ (рисунок 7).

Представление управляемого трансформатора комплексной трансформацией и универсальной моделью УУПМ дает одинаковый результат. В самом деле, если представить управляемый трансформатор двумя генераторными узлами с заданными P и Q , то в результате расчета режима будут получены комплексы напряжений генераторных узлов U_1 и U_2 . Частное этих комплексов дает комплексный коэффициент трансформации, который должен быть задан в традиционной модели управляемого трансформатора для получения того же режима. Неудобство традиционной модели заключается в том, что для получения желаемых режимных параметров может потребоваться длительный подбор коэффициента трансформации.

Предлагаемая модель УУПМ в установившихся режимах обладает двумя существенными преимуществами:

- Модель универсальна и позволяет адекватно представить УУПМ любого типа. Это позволяет существенно сэкономить количество расчетов при решении исследовательских и проектных задач, связанных с оценкой влияния УУПМ различных типов на электроэнергетическую систему и выбором типа УУПМ.

- Модель обладает гибкостью и позволяет задавать УУПМ набором параметров, наиболее удобным в решении конкретной расчетной задачи, а также позволяет правдоподобно имитировать работу систем управления реальных устройств в установившихся режимах.

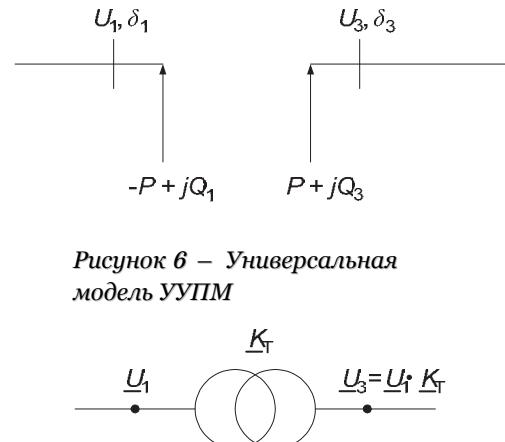


Рисунок 6 – Универсальная модель УУПМ

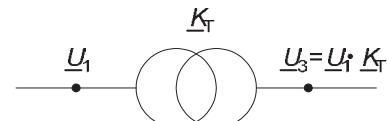


Рисунок 7 – Комплексная трансформация

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Теличко, Л.Я. Параметрическое регулирование потоков мощности линий электропередач с применением управляемой продольной компенсации / Л.Я. Теличко, Р.В. Батраков // Электротехн. комплексы и системы упр. -2010. -№3. -С. 60-64.
- 2 Biswas, P. The influence of thyristor controlled phase shifting transformer on balance fault analysis / P. Biswas // Intern. J. of Modern Eng. Research. -2012. -Vol. 2, Iss.4, July-Aug. -P. 2472-2476.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: вставка постоянного тока, объединенный регулятор потоков мощности, управляемый тиристорный трансформатор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рогов Григорий Викторович, канд. техн. наук, ведущий инженер СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630126, г.Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СООТВЕТСТВИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 54149-2010

Омский институт водного транспорта (филиал) ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта» ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

**А.И. Антонов, Ю.М. Денчик, Д.А. Зубанов, В.И. Клеутин,
А.А. Руппель, А.С. Никишкин**

ANALYSIS OF THE DELINEATION OF RESPONSIBILITY FOR ENSURING THE QUALITY OF ELECTRIC POWER AFTER THE TRANSITION TO THE NEW GOST 54149-2010

Omsk institute of water transport (branch) Novosibirsk state academy of water transport
Novosibirsk state academy of water transport

A.I. Antonov, Ju.M. Denchik, D.A. Zubanov, V.I. Kleutin, A.A. Ruppel, A.S. Nikishkin

Described tests on «Plant Port-enforcement details». Describes a method for processing the results of investigations, the exponent-law quality of electric energy by means of a pro-software products in the development environment LabVIEW. Pro-conducted analysis of compliance steady voltage deviation at each phase of the casting section of the enterprise requirements of GOST 54149-2010.

Keywords: power quality, voltage deviation, electric power systems, software, statistical data processing, normalized values

Описано проведенное испытание на ЗАО «Завод соединительных деталей». Описан способ обработки результатов исследований показателей качества электрической энергии средствами программного продукта в среде разработки LabVIEW. Произведен анализ соответствия установившегося отклонения напряжения на каждой фазе литьевого участка предприятия требованиям ГОСТ 54149-2010.

В настоящее время все более актуальной задачей является обеспечение качества электроэнергии потребителей. Нормальное функционирование многих предприятий, его безопасность и экономическая эффективность зависит от качества поставляемой электрической энергии его потребителям. Под обеспечением качества электроэнергии следует понимать соответствие показателей качества электроэнергии (ПКЭ) требованиям ГОСТ 54149-2010. Для оценки соответствия ПКЭ требованиям ГОСТ 54149-2010 необходимо провести испытания для определения значений ПКЭ и полученные результаты испытаний обработать.

Испытания проводились на предприятии ЗАО «Завод соединительных деталей» в течение суток на литьевом участке. Для определения соответствия значений измеряемого отклонения напряжения устанавливается минимальный интервал времени измерений, равный 24 ч., с интервалом усреднения 60 сек.

Для измерений использовался информационно-вычислительный комплекс ИВК «Омск-М» заводской номер 42. Использовалось шесть измерительных каналов: три для измерения напряжения на шинах подстанции и три для измерения токов, подключены к вторичной обмотке измерительных трансформаторов ТА.

Проверка качества электроэнергии на соответствие требованиям ГОСТ 54149-2010 проводилась для одного из показателей качества электроэнергии (ПКЭ) – установившегося отклонения напряжения. Для обработки результатов измерений по данному ПКЭ использовали программный продукт «Обработка экспериментальных данных показателей качества электроэнергии по установленвшемуся отклонению напряжения» в среде разработки LabVIEW. LabVIEW – интегрированная графическая среда разработчика для создания интерактивных программ сбора, обработки данных и управления периферийными устройствами. Програм-

мирование осуществляется на уровне функциональных блок-схем (блок-диаграмм) с использованием графического языка G. В состав библиотеки программы входит подпалитра математических функций (Mathematics). В эту категорию входят следующие подпалитры: числовые (Numeric), элементарные и специальные функции (Elementary & Special Functions and VIs), линейная алгебра (Linear Algebra), аппроксимация данных (Fitting), дифференциальные уравнения (Differential Equations), геометрия (Geometry), полиномы (Polynomial), скрипты и формулы (Scripts & Formulas) [1].

Программный продукт, разработанный средствами LabVIEW позволяет создавать пользователю удобный интерфейс, получить все необходимые значения для оценки результатов измерений показателей качества электрической энергии. Кроме того, большинство современных приборов для измерения показателей качества электроэнергии, включая ИВК «Омск-М» позволяет экспортить результаты измерений в формате MS EXCEL [2]. Для проведения статистической обработки экспериментальных данных, полученных при помощи ИВК «Омск-М» в программном продукте, разработанной средствами LabVIEW, предлагается сначала экспортить данные измерений в документ Microsoft EXCEL. После этого следует сохранить полученные данные как текстовые файлы (с разделителями табуляции).

Далее в программном продукте ввод данных необходимо произвести с сохраненного файла, установить нормируемое значение напряжения $U_n = 400$ В, выбрать фазу, для которой будет рассчитываться отклонение напряжения. Число квантилей гистограммы установили равным 10. После этого необходимо нажать кнопку «Расчет» и в течение нескольких долей секунд программный продукт рассчитывает параметры распределения установившегося отклонения напряжения и вероятность выхода кондуктивной электромагнитной помехи (ЭМП) по установившемуся отклонению напряжения.

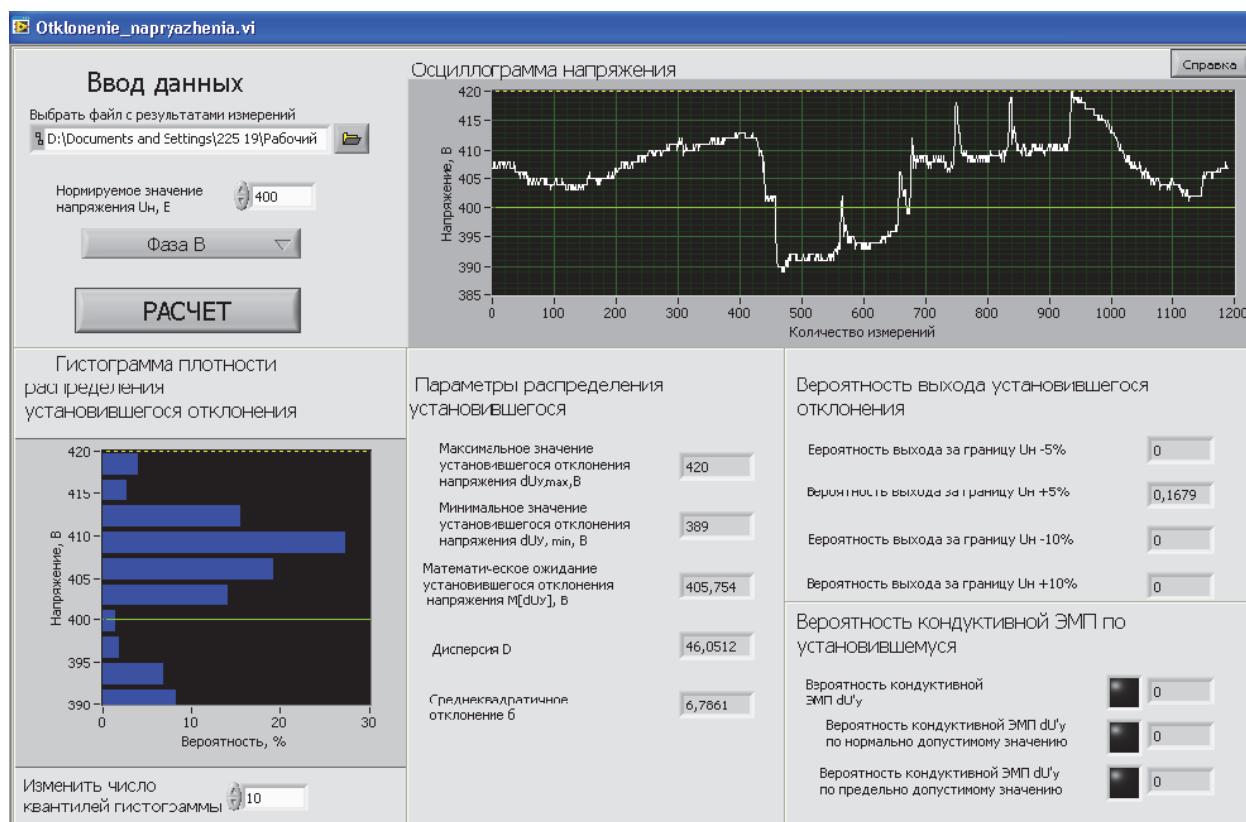


Рисунок 1 – Интерфейс программного продукта по обработке результатов исследований

Интерфейс программного продукта по обработке результатов экспериментальных исследований показателей качества электрической энергии представлен на рисунке 1. Данный интерфейс получен для каждой фазы на литеином участке. Как видно из осцилограмм напряжений, суточные замеры проходят для каждой фазы, количество измерений при этом чуть меньше 1200, так как интервал измерений выбран 60 с. Зеленой линией указывается номинальное значение напряжение, штрихпунктирной – нормально допустимое значение отклонения напряжения. Согласно ГОСТ 54149-2010 допустимые значения установившегося

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

отклонения напряжения dU_y на выводах приемников электрической энергии равны соответственно $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети.

При выполнении статистической обработки результатов измерений случайная величина установившегося отклонения напряжения dU_y представляется в виде гистограммы, в которой число квантилей выбирается таким образом, чтобы граница квантита совпадала с границей нормируемого значения, а их количество было минимальным для заданной точности расчета. Данные результатов испытаний, проводившихся на литьевом участке для всех фаз сведены в таблицу.

Таблица – Сводные данные результатов испытаний, проводившихся с 15.05.2014 г. по 16.05.2014 г. на литьевом участке

№ п/п	Параметры	Значения на фазе А	Значения на фазе В	Значения на фазе С
1	Максимальное значение установившегося отклонения напряжения, $dU_{y\max}$, В	419	420	421
2	Минимальное значение установившегося отклонения напряжения, $dU_{y\min}$, В	398	389	400
3	Математическое ожидание установившегося отклонения напряжения $M[dU_y]$, В	405,535	405,754	409,327
4	Дисперсия D	19,0288	46,0512	37,4722
5	Среднеквадратичное отклонение δ , В	4,3622	6,7861	6,12146
6	Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_H - 5\%$, %	0	0	0
7	Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_H + 5\%$, %	0	0,1679	6,717
8	Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_H - 10\%$, %	0	0	0
9	Вероятность выхода установившегося отклонения за границу $U_H + 10\%$, %	0	0	0
10	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП dU'_y , %	0	0	1,717
11	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП dU'_y по нормально допустимому значению, %	0	0	1,717
12	Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП dU'_y по предельно допустимому значению, %	0	0	0

По данным, представленным в таблице можно наблюдать следующее: на фазе А вероятность выхода установившегося отклонения напряжения ниже и выше номинального значения равны 0, соответственно и вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП по нормально допустимому и предельно допустимому значению также равны 0. На фазе В наблюдается вероятность выхода установившегося отклонения напряжения выше номинального значения, которая равна 0,1679%, что в соответствии с ГОСТ 54149-2010 меньше допустимого значения (10%). На фазе С вероятность выхода положительного отклонения напряжения равно 6,717%, что, согласно ГОСТ 54149-2010 ниже допустимого значения (10%). Вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП по нормально допустимому значению при этом равна 1,717%, а по предельно допустимому значению – 0. Так как вероятность выхода установившегося отклонения напряжения на фазе С ниже допустимого значения, то здесь также, как и на других фазах, наблюдается соответствие ГОСТ 54149-2010 по установленному отклонению напряжения.

Самое интересное здесь то, что если бы происходила проверка качества электроэнергии по установленному отклонению напряжения на соответствие требованиям ГОСТ 13109-97, который с 1 июля 2014 г. прекратил своё существование, тогда на фазе С вероятность выхода установившегося отклонения напряжения выше нормально допустимого значения (5%), но ниже предельно допустимого значения (10%). Соответственно, вероят-

нность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП была бы выше нормально допустимого значения, но ниже предельно допустимого значения. Следовательно, относительно требований ГОСТ 13109-97 выявлена вероятность кондуктивной электромагнитной помехи ЭМП dU_y по нормально допустимому значению на 1,717% на фазе С литьевого участка.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

- С использованием среды разработки LabVIEW разработан программный продукт для статистической обработки данных измерений показателей качества электрической энергии по установленвшемуся отклонению напряжения.
- Программа LabVIEW позволяет создавать достаточно удобный интерфейс разрабатываемого программного продукта в соответствии с требованиями пользователя.
- При обработке данных с помощью программного продукта выявлено соответствие установленвшегося отклонения напряжения ГОСТу 54149-2010.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Суранов, А.Я. LabVIEW 8.20: справ. по функциям / А.Я. Суранов. -М.: ДМК Пресс, 2007. -536 с.

2 Обработка результатов экспериментальных исследований показателей качества электрической энергии средствами программы labView / Д.А. Зубанов [и др.] // Сб. науч. тр. ОИВТ. -2012. -№10. -С. 118-122.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: нормирующее значение, показатели качества электроэнергии, отклонение напряжения, электроэнергетические системы, программный продукт, статистическая обработка данных

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Антонов Александр Игоревич, ассистент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Зубанов Дмитрий Александрович, ассистент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Клеутин Владислав Иванович, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Руппель Александр Александрович, канд. техн. наук, профессор ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Никишин Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, доцент ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»
644099, г.Омск, ул.И.Алексеева, 4, ОИВТ (филиал) ФГБОУ ВО «НГАВТ»

МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМЫ ВОЛНОВОЙ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ

ОАО Научно-производственное объединение «Элсиб»
ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.А. Князев, К.В. Корнеев, Г.Е. Солнцев

THE TECHNIQUE OF COMPIRATION OF THE WAVE WINDING WICH FRACTIONAL NUMBER OF SLOTS ON A POLE AND A PHASE

Scientific production association Elsib
Novosibirsk state academy of water transport
O.A. Knyazev, K.V. Korneev, G.E. Solntsev

The article suggests the technique of compilation of the wave winding scheme of an anchor of the multi-pole machine of an alternating current with fractional number of slots per pole and phase.

Keywords: electric car, wave winding, fractional number of slots per pole and phase

Предложен метод составления волнового обмотки схемы якоря многополюсного машины переменного тока с дробным числом пазов на полюс и фазу.

Волновые обмотки нашли своё применение в качестве якорных обмоток мощных много-полюсных электрических машин переменного тока, например, в гидрогенераторах.

Одним из основных параметров обмотки является число пазов, приходящихся на полюс и фазу

$$q = \frac{Z}{zp \cdot m},$$

где Z – число пазов;

$2p$ – число полюсов;

m – число фаз обмотки.

Обычно в упомянутых машинах применяется двухслойная стержневая обмотка, состоящая из стержней с различными зазорами между собой и с якорем.

щая из одновитковых катушек, при этом число катушек равно числу пазов.

Составление схемы подобных обмоток при целом числе пазов на полюс и фазу не представляет трудностей. Действительно, все катушки, лежащие под одноимёнными полюсами и в одинаковых магнитных условиях соединяются последовательно с помощью прямых хомутов, то есть естественно, а образованные таким путём группы (или ходы обмотки) могут быть соединены как параллельно, так и последовательно не- многочисленными перемычками.

Выбор числа пазов якоря электрической машины, в том числе гидрогенератора, является одной из основных задач при проектировании.

Результаты её решения – оптимальное с точки зрения технико-экономических показателей число пазов. Однако зачастую при таком числе пазов, обмотка имеет дробное число пазов на полюс и фазу. Округление его до ближайшего целого может привести к значительному ухудшению технико-экономических показателей машины. По этой причине схема обмотки строится на базе оптимального числа пазов Z или максимально близкого к нему с дробным числом q при условии выполнения известных требований симметрии обмотки по фазам, по количеству параллельных ветвей, по чистоте кривой намагничивающей силы и других [1].

Но при дробном q схема обмотки существенно усложняется: группы естественно соединённых катушек укорачиваются при одновременном смещении их положения относительно полюсов. Для объединения групп необходимо уже выполнение искусственных соединений типа [2]:

- прямая перемычка – соединение двух катушек, концы которых лежат в одном слое и отстоят друг от друга более чем на одно зубцовое деление;
- косая перемычка – соединение двух катушек, концы которых лежат в различных слоях и отстоят друг от друга более чем на одно зубцовое деление;
- косой хомут – соединение двух катушек, концы которых лежат в разных слоях и отстоят друг от друга на одно зубцовое деление.

Подобные соединения являются многовариантными и их оптимальное выполнение требует от конструктора опыта и значительных трудозатрат.

К настоящему времени разработчиками электрических машин выполнен большой объём исследований и предложены различные практические методы по составлению схем обмоток с дробным q [2-5]. Одна из методик сводится к нижеследующему [2, 4].

На первом этапе составляется периодический ряд чередования катушечных групп обмотки, распределённых по фазам. Если дробное число пазов на полюс и фазу q представить в виде

$$q = b + \frac{c}{d},$$

то ряд характеризуется следующими свойствами:

- d – число групп катушек, через которые ряд повторяется;
- c – число групп катушек, в которых их количество равно $b+1$;
- $d-c$ – число групп катушек с количеством катушек в группе равным b .

Нечётное число d означает, что очередной ряд начинается под полюсом противоположной полярности и действительная повторяемость схемы будет через $2d$ полюсов.

Основным вопросом при составлении схемы является вопрос оптимального чередования вышеприведённых групп, состоящих из b и $b+1$ катушек внутри ряда. Авторы [2, 4] предлагают определять оптимальное чередование следующим образом:

- составляется таблица из c строк и d столбцов;
- в таблицу начиная с левого столбца и первой строки в направлении сверху вниз, а при окончании столбца слева направо, записываются сначала составляющие ряда со значением $b+1$ (их количество равно c); затем записываются составляющие со значением b (их количество равно $d-c$); после окончания данного ряда, этот алгоритм повторяется, начиная с последней не заполненной ячейки до тех пор, пока вся таблица не окажется заполненной; её строки представляют собой искомые ряды чередования групп катушек;
- далее составляется табличная схема обмотки, содержащая число строк, равное числу пар полюсов p и число столбцов, равное результирующему шагу обмотки

$$- y = \frac{6(bd + c) \pm k}{d},$$

где k – минимальное целое число, при котором шаг так же является целым числом;

– составленная таблица разбивается на фазные зоны в соответствии с выбранным в предыдущем пункте рядом; затем расставляются искусственные соединения в виде прямых и косых перемычек и косых хомутов.

Изложенное поясняется примером из [2], представленном в таблице 1 и на рисунке 1.

Количество вариантов рядов по [2] равно c . В действительности их не менее. По этой причине составление схем обмотки и их сопоставление представляет собой весьма трудную задачу. Наиболее эффективное решение данной задачи может быть выполнено с помощью ЭВМ при условии оптимизации вышеописанного алгоритма. При этом на ЭВМ реализуется алгоритм поиска и последующего анализа полученных вариантов соединения путём построения алгоритма поиска по дереву вариантов в глубину.

С целью снижения затрат машинного времени на поиск вариантов соединения была выполнена оптимизация вышеописанного алгоритма, направленная на снижение числа возможных вариантов соединений катушечных групп, что позволяет сократить число узлов дерева поиска.

Оптимизация основана на нижеследующих положениях. Описание приведено для случая «ручного» составления схемы обмотки. Данный алгоритм был реализован в виде программы для ЭВМ. Подробное рассмотрение его реализации и работы в рамках данной статьи не рассматривается ввиду значительного объёма.

1 Обмотка с дробным числом пазов на полюс и фазу рассматривается как состоящая из двух частей. Первая часть Z_1 с целым числом $q_1 = b$. Вторая часть Z_2 с дробным $q_2 = c/d < 1$.

2 Число и расположение искусственных соединений в виде перемычек и косых хомутов определяется частью обмотки, имеющей дробное число пазов на полюс и фазу q_2 .

3 Соединение схем обмоток, составленных для их частей с дробным и целым числом пазов на полюс и фазу осуществляется естественно через результирующий шаг обмотки или прямой перемычкой.

Число и расположение искусственных соединений определяется с помощью схемы части обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу в соответствии со следующим алгоритмом.

Таблица 1 – Ряды чередования катушечных групп волновой обмотки с $Z = 114$, $2p = 22$, $m = 3$, $q = 1$ (8/II) по [2]

2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2
2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2
2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2
2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2
2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2
2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1
2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1
2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1

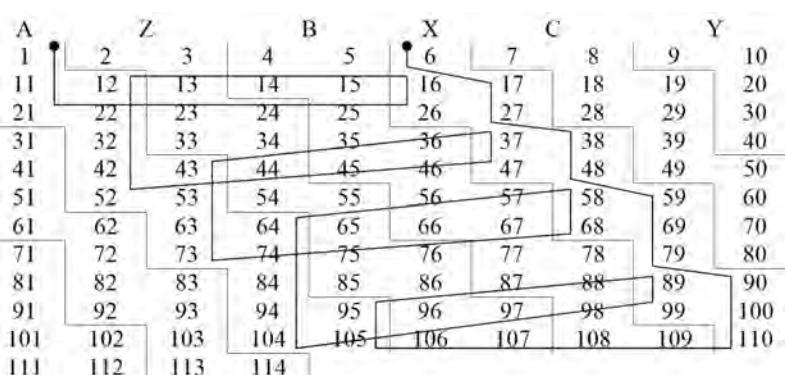


Рисунок 1 – Табличная схема обмотки с $Z = 114$, $2p = 22$, $m = 3$ по [2] и схема соединения для фазы А

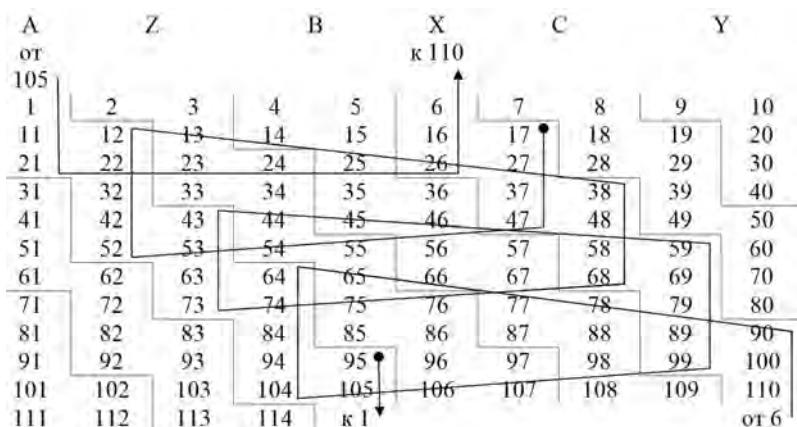


Рисунок 2 – Табличная схема обмотки $Z = 114$; $2p = 22$; $m = 3$, с чередованием катушек по фазам для катушек с 1 по 57 – 12212221222, с 58 по 114 – 21221222122 и схема соединения для фазы А

1 Строится вспомогательная таблица обмотки для заданных значений числа полюсов $2p$ и фаз m , но при $q = 1$ (при любых значениях целой части b заданного q).

2 Для части обмотки с дробным по аналогии с представленным ранее алгоритмом составляется катушечный ряд. Таким образом, получаем «исходный» ряд [3], содержащий с групп катушек, состоящих из одной катушки и $d - c$ групп без катушек (то есть ноль катушек).

3 Вспомогательная таблица по п.1 заполняется в соответствии с «исходным» катушечным рядом. Заполнение начинается от первого столбца с первой строки. При этом 0 соответствует отсутствию катушки, 1-наличию. Последние и представляют собой обмотку c . Нумерация данных катушек выполняется сквозной в пределах Z_2 .

4 В полученной таблице выполняется построение обмотки с Z_2, q_2 посредством естественных и искусственных соединений. Таким образом, определяется топология искусственных соединений.

5 Выполняется построение таблицы обмотки для заданного числа пазов Z и соответствующего ему q .

6 В таблице по п.5 в пределах фазных зон выделяются группы катушек соединённых последовательно естественным образом (посредством прямых хомутов). Среди этих групп будут катушки принадлежащие частным обмоткам с q_1 и q_2 .

7 Между собой данные обмотки, как отмечено выше, соединяются естественно или прямыми перемычками.

Таким образом, решение вопроса нахождения оптимальной топологии искусственных соединений выполняется в пределах частной обмотки с числом пазов Z_2 , что существенно сокращает затраты времени на составление обмотки.

Следует отметить, что суммарная длина перемычек в схеме по [2], рисунок 1, в 2,5 раза меньше, чем в схеме по рисунку 2. Вероятно, что авторы [2] использовали подобную топологию с целью снижения суммарной длины перемычек. Однако это привело к появлению большого числа косых хомутов. Из практики гидрогенераторостроения известно, что применение косых хомутов требует использования трудоёмкой и дорогостоящей операции ручной изолировки данного соединения. Изолировка посредством диэлектрических прессованных коробочек снижает трудоёмкость этой операции, однако требует изготовления сложных пресс-форм, стоимость которых может превысить экономию средств на длине перемычек. Вопрос выбора окончательного варианта схемы всегда будет решён на основе технико-экономических сравнений.

Изложенный выше алгоритм составления схемы волновой обмотки электрической машины реализован в виде программы для ЭВМ с помощью языка инженерного программирования MATLAB. Пользовательский интерфейс программы представлен на рисунке 3. Программа позволяет выполнять следующие функции:

1 Определение катушечного ряда с максимальным коэффициентом распределения.

2 Составление табличной схемы обмотки для катушечного ряда, определённого в п.1 или заданного пользователем, а также определение обмоточного коэффициента обмотки.

3 Поиск возможных вариантов схем обмоток для различных катушечных рядов по заданным критериям: минимальная длина

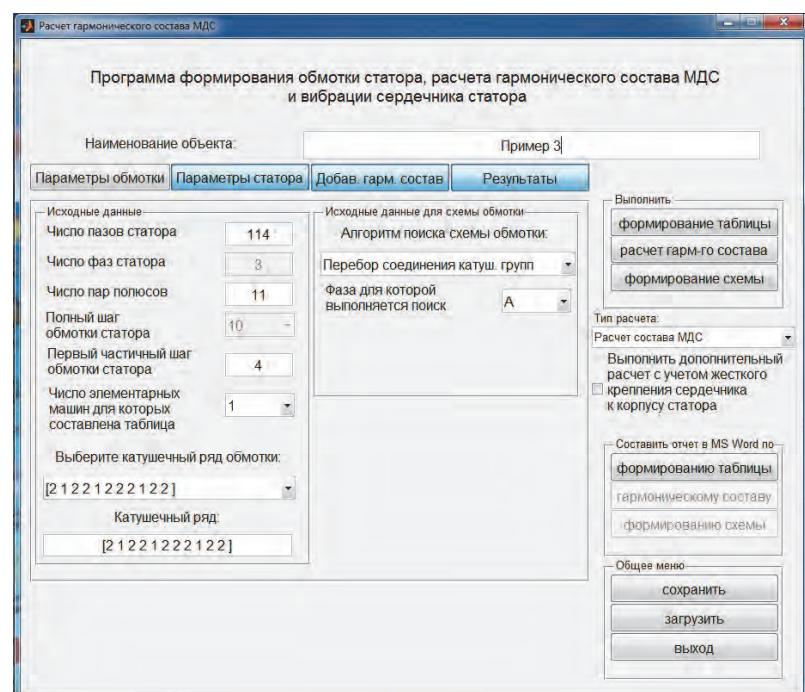


Рисунок 3 – Меню программы составления схемы волновой обмотки и определения гармонического состава МДС

перемычки, минимальное число искусственных соединений.

4 Осуществление выборки и сортировки найденных вариантов схем обмоток по заданным критериям (число перемычек, число косых хомутов, длина перемычек и т. д.).

5 Построение схемы обмотки. Результатом построения является последовательность соединения катушек заданной фазы с указанием всех естественных и искусственных соединений, а так же катушечных групп.

6 Вывод на печать отчёта о составлении таблицы, поиске вариантов схемы и их выборке и сортировке.

7 Сохранение и загрузка результатов построения схемы обмотки.

Помимо указанных функций в программу добавлена возможность расчёта гармонических составляющих МДС, обусловленных дробностью числа пазов на полюс и фазу. Программа позволяет определять амплитуду и частоту вибрации статора под действием этих составляющих. Кроме этого, гармонический состав может быть дополнен любым числом дополнительных составляющих для полной оценки вибрационного состояния статора.

Выводы. Разработан усовершенствованный алгоритм построения схемы волной обмотки с дробным числом пазов на полюс и фазу. Данный алгоритм реализован в программе поиска и выбора возможных вариантов схем построения обмоток. Разработанная программа позволяет оценить оптимальность выбранной схемы обмотки с точки зрения числа искусственных соединений, длины перемычек, обмоточного коэффициента, а так же вибрационного состояния якоря под действием различных составляющих электромагнитного поля.

Разработанный алгоритм и реализованная программа для ЭВМ позволяет в значительной степени снизить трудозатраты на выбор схемы обмотки.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Проектирование гидрогенераторов. Ч. 1 / В.В. Домбровский [и др.]. -М.;Л.: Энергия, 1965. -259 с.
- 2 Проектирование гидрогенераторов. Ч. 2 / В.В. Домбровский [и др.]. -М.;Л.: Энергия, 1968. -364 с.
- 3 Касьянов, В.Т. Составление схем петлевых и волновых обмоток трёхфазного тока / В.Т. Касьянов / Электросила: сборник / ГЭИ. -Л., 1949. -№ 6. -С. 16-43.
- 4 Ипатов, П.М. Упрощённый способ составления схем трёхфазных волновых обмоток с дробным числом пазов на полюс и фазу / П.М. Ипатов / Электросила: сборник / ГЭИ. -Л., 1954. -№ 12. -С. 35-41.
- 5 Ипатов, П.М. Построение рациональных схем волновых обмоток статора синхронного генератора с дробным числом пазов на полюс и фазу / П.М. Ипатов / Электросила: сборник / ГЭИ. -Л., 1959. -№ 17. -С. 38-42.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрическая машина, волновая обмотка, дробное число пазов на полюс и фазу
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Князев Орест Аркадьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Корнеев Константин Викторович, канд. техн. наук, заместитель начальника отдела ОАО НПО «Элсиб»

Солнцев Григорий Егорович, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630088, г.Новосибирск, ул.Сибиряков-Гвардейцев, 56, ОАО НПО «Элсиб»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕВЕНТИВНОГО ДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В РЕЖИМАХ ПОВЫШЕННОГО РИСКА

Национальный диспетчерский центр Системного оператора,
филиал АО «Казахстанская компания по управлению
электрическими сетями»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический
университет»

А.Г. Фишов, Б.Б. Мукатов

USING PREVENTIVE DIVISION OF ELECTRICAL NETWORK IN HIGH-RISK MODES

National dispatching centre of system operator», branch Kazakhstan electricity grid operating company
Novosibirsk state technical university
A.G. Fishov, B.B. Mukatov

Topicality is reasoned and an effectiveness of the electrical network reconfiguration in high-risk conditions is demonstrated in order to ensure the functionality of the power system.

Keywords: power system functionality, survivability, preventive division of power grid

Обосновывается актуальность и демонстрируется эффективность реконфигурации электрической сети с целью обеспечения надежности электроэнергетической системы в режимах повышенного риска.

Обосновывается актуальность и демонстрируется эффективность реконфигурации электрической сети с целью обеспечения надежности электроэнергетической системы (ЭЭС) в режимах повышенного риска.

Надежность ЭЭС является одной из составляющих ее интегральной функциональности, где под функциональностью ЭЭС понимается ее способность осуществлять экономичное электроснабжение потребителей с требуемой надежностью и качеством электроэнергии. Поддержание функциональности связано с наличием достаточных резервов мощности на электростанциях, кроме того, в структуре генерирующих мощностей должны быть предусмотрены в необходимом размере маневренные мощности, позволяющие осуществить покрытие переменной части графика нагрузки системы [1].

При эксплуатации ЭЭС часто возникают ситуации, при которых неизбежна работа ЭЭС в, так называемых, режимах повышенного риска (РПР), (со снижением надежности или, иначе, при неполной функциональности). РПР может быть вынужденной мерой в нормальных условиях (например, с целью снижения холостых сбросов воды при сезонных паводках на гидроэлектростанциях) или возникать в результате аварийного события в ЭЭС. При этом недостаточность резервов мощности генерации или пропускной способности сети становится причиной неготовности системы противостоять эксплуатационным возмущениям по критерию $n-1$ и может приводить к отключению потребителей.

Продолжительность аварийного РПР определяется временем ликвидации технологического нарушения, а вынужденный РПР может существовать длительно.

Возможность осуществления РПР, как правило, обеспечивается противоаварийной автоматикой (ПА) с отключением нагрузки. Так, в случае целостности системы и отключения линии в сечении 1 или генератора в подсистеме 2 (рисунок 1а) автоматика предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) выполнит разгрузку сечения 1 за счет отключения нагрузки в подсистеме 2.

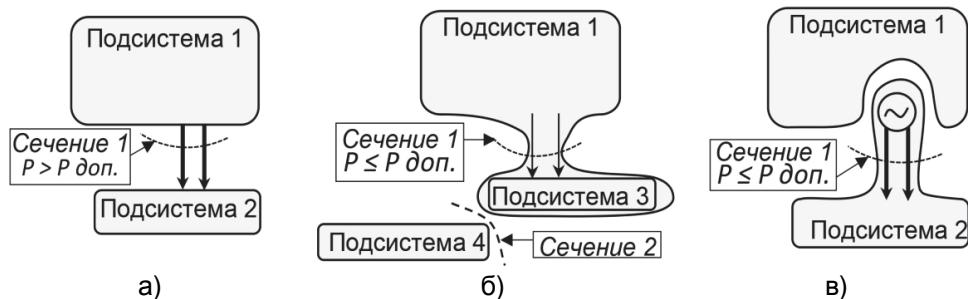


Рисунок 1 – Деление ЭЭС

На рисунке 1б и 1в показаны варианты деления ЭЭС при сниженных запасах устойчивости в сечении 1.

В соответствии с [2] допустимый переток по статической устойчивости с нормативными запасами по активной мощности в сечении вычисляется по формуле

$$P = P_{np} (1 - K_p) - \Delta P_{hk}, \quad (1)$$

где P_{np} – предельный по апериодической статической устойчивости переток активной мощности в рассматриваемом сечении;

P – переток в сечении в рассматриваемом режиме;

ΔP_{hk} – амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении.

При отсутствии фактических данных ΔP_{hk} вычисляется по формуле

$$\Delta P_{hk} = K \sqrt{\frac{P_{h1} P_{h2}}{P_{h1} + P_{h2}}}, \quad (2)$$

где P_{h1}, P_{h2} – суммарные мощности нагрузки с каждой из сторон рассматриваемого сечения;

K – коэффициент, принимаемый равным 1,5 при ручном регулировании и 0,75 при автоматическом регулировании (ограничении) перетока мощности в сечении.

После реконфигурации с разделением подсистемы 2 на две подсистемы (3 и 4) ΔP_{hk} в (1) снижается, так как суммарная мощность подсистемы 3 меньше мощности исходной подсистемы 2. В случае возникновении небаланса мощности в подсистеме 4 необходимость в

отключении потребителей может быть полностью или частично исключена за счет использования регулирующего эффекта нагрузки по частоте и напряжению.

Так, при выделении из подсистемы 1 только электростанций для покрытия дефицита в подсистеме 2 (рисунок 1в), амплитуда нерегулярных колебаний активной мощности в этом сечении согласно (2) становится равной нулю, так как $P_{n1} = 0$. В результате реконфигурации допустимый переток мощности в сечении может быть увеличен, а условие $n - 1$ выполнено за счет использования регулирующего эффекта нагрузки, то есть режим перестает быть РПР. Например, при отключении одной из линий электропередачи (ЛЭП) в сечении 1 потребуется снижение генерации в избыточной части, а балансирующее воздействие на отключение нагрузки в приемной части будет снижено за счет регулирующего эффекта.

Рассмотрим эффективность реконфигурации ЭЭС в ситуации повышенного риска на примере энергосистемы Республики Казахстан в РПР при максимуме потребления за 06 января 2014 г. Баланс мощности укрупненно представлен на рисунке 2.

Исходный режим Южной части ЭЭС Казахстана, связанных с ней энергосистем Кыргызстана и Узбекистана показан на рисунке 3. На нем же приведены выделяемая подсистема и сечение для реконфигурации системы по варианту показанному на рисунке 1б. Переток мощности в сечении 1 равен аварийно-допустимому значению. В исходном состоянии отключение линии, либо потеря генерации или наброс мощности в приемной части может привести к нарушению устойчивости в сечении из-за неэффективности АПНУ, с риском развития каскадной аварии с несбалансированным разделением энергосистемы и работой автоматической частотной разгрузки (АЧР).

Отделение фрагмента Южной части ЭЭС Казахстана вместе с ЭЭС Узбекистана и частью ЭЭС Кыргызстана по сечению 2 от синхронной зоны (в соответствии с рисунком 1б), позволяет исключить условия РПР. Сечение 1 будет разгружено до допустимого значения. За счет снижения нерегулярных колебаний, примерно на 120 МВт, допустимый переток в сечении может быть увеличен на соответствующую величину.

Реконфигурация ЭЭС по принципу, показанному на рисунке 1в в настоящей схеме ЕЭС Казахстана не представляется возможной из-за недостаточной пропускной способности имеющихся ЛЭП.

С учетом перспективного строительства в Северной части ЭЭС Казахстана ВЛ 500 кВ Астана-Нур, подобный режим осуществим, и его моделирование приведено на рисунке 4.

Южная часть ЭЭС Казахстана вместе с энергосистемами Узбекистана и Кыргызстана переведена на параллельную работу с Экибастузской ГРЭС-2 с нагрузкой 960 МВт и двумя энергоблоками Экибастузской ГРЭС-1 – 630 МВт. Выделение Экибастузской ГРЭС-2 на параллельную работу с дефицитной частью произведено разделением по шинам на ПС Экибастузская-1150, с сохранением транзита Сибирь-Казахстан-Урал. Аналогично было выполнено разделение в ОРУ 500 кВ Экибастузской ГРЭС-1, где был осуществлен перевод двух энергоблоков (с наличием резерва мощности порядка 300 МВт) на изолированную работу с ОЭС Центральной Азии и южной частью ЭЭС Казахстана.

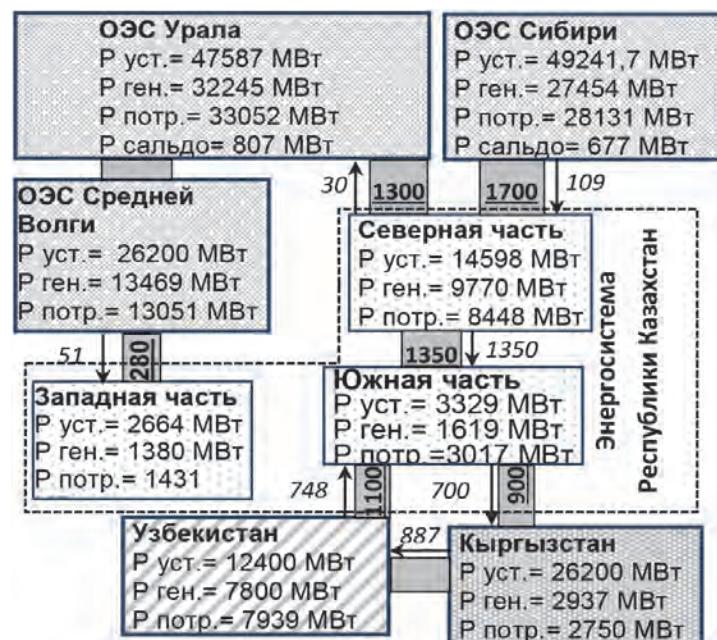


Рисунок 2 – Баланс мощности (16:00 мск 06.01.14 г.): Руст-суммарная установленная мощность электростанций; Рген-суммарная генерация мощности электростанций; Рпотреб-суммарное потребление мощности; Рсальдо-сальдо переток мощности («+»- дефицит; «-»- избыток); 1700-Максимально-допустимый переток мощности в сечении; 1350-переток мощности в сечении

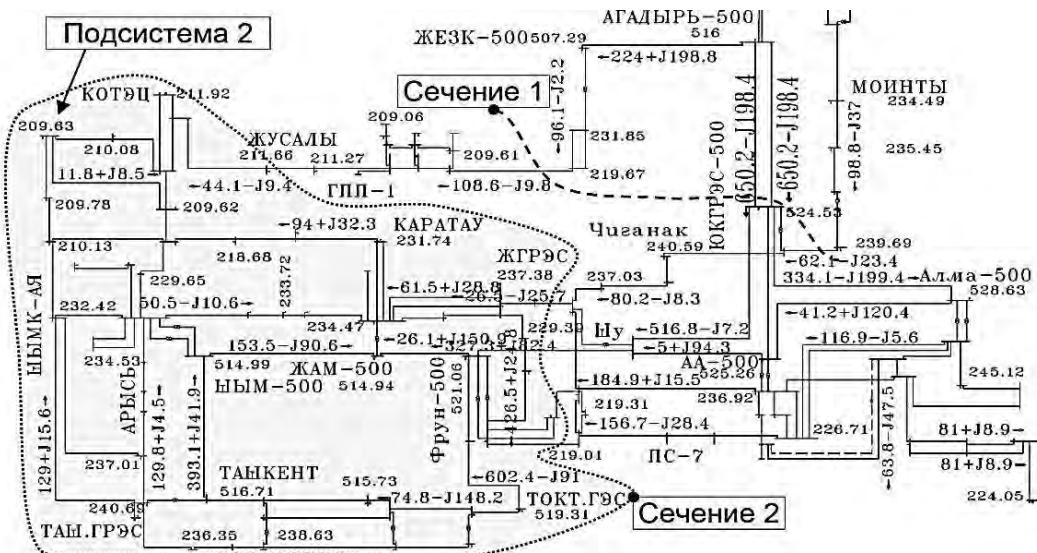


Рисунок 3 – Исходный режим работы ЭЭС

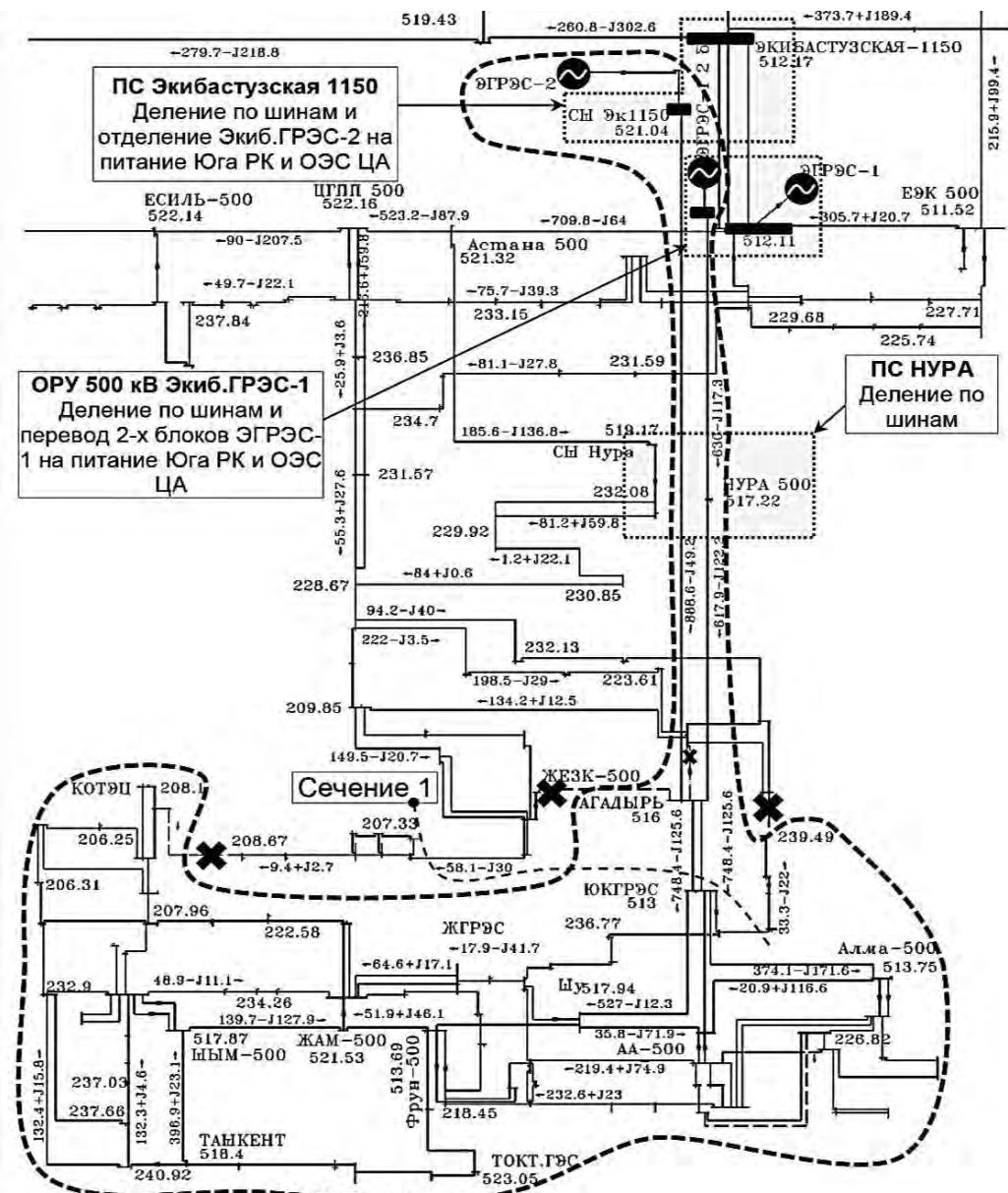


Рисунок 4 – Режим ЭЭС после реконфигурации с выделением части генерации Северной части ЭЭС
Казахстана на электроснабжение юга РК и ОЭС ЦА

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Результаты моделирования показывают, что все параметры режима находятся в допустимом диапазоне и имеется регулировочный резерв мощности.

За счет исключения нерегулярных колебаний (порядка 200 МВт), допустимый переток в сечении 1 может быть значительно увеличен.

Данная схема отвечает требованию критерия $n-1$ за счет снижения исходного дефицита мощности в южной части системы и использования регулирующего эффекта нагрузки.

Таким образом, оба варианта деления энергосистемы ликвидировали условия РПР.

В таблице приведены ориентировочные объемы управляющих воздействий ПА в различных схемах (в исходном режиме переток мощности в сечении 1 равен 1350 МВт), при расчетных возмущениях ЭЭС (отключение ЛЭП в сечении 1 и генерации мощностью 200 МВт в дефицитной части). Результаты свидетельствуют об эффективности использования реконфигурации для снижения объема ограничений в послеаварийном режиме.

Таблица – Оценка управляющих воздействий (компенсирующих действий) при эксплуатационных возмущениях в различных схемах ЭЭС, МВт

Способ обеспечения надежности	Отключение ЛЭП			Отключение 200 МВт генерации		
	АПНУ	реконфигурация		АПНУ	реконфигурация	
		№1	№2		№1	№2
Отключение генераторов	0	0	200	0	0	0
Отключение нагрузки	400	250	0	200	50	0
Компенсация за счет регулирующего эффекта нагрузки	0	0	200	0	0	200

Выводы: Проведенное моделирование превентивного деления ЭЭС в режимах повышенного риска показывает эффективность его применения для обеспечения функциональности энергосистемы.

Реконфигурация ЭЭС позволяет улучшить функциональность за счет эффективного использования внутренних резервов ЭЭС, возникающих при делении системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Фишов, А.Г. Обеспечение живучести энергосистем при развитии распределенной генерации / А.Г. Фишов, Б.Б. Мукатов / Вестн. Алматин. ун-та энергетики и связи. -2013. -№4(23). -С. 6-15.

2 Методические указания по устойчивости энергосистем. -М.: ЭНАС, 2004.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: функциональность энергосистемы, живучесть, превентивное деление электрической сети

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Фишов Александр Георгиевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «НГТУ»
Мукатов Бекжан Батырович, заместитель главного диспетчера НДЦ СО, филиал АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 010010, Казахстан, г.Астана, пр.Независимости, 59, НДЦ СО, филиал АО «Казахстанская компания по управлению электрическими сетями»
630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ

ФГАОУ ВПО «Сибирский федеральный университет»

Д.А. Яковлев

MATHEMATICAL MODELING OF ELECTROMECHANICAL SYSTEM WITH STOCHASTIC PARAMETERS
Siberian federal university
D.A. Yakovlev

Analysis of mathematical model of synchronous generator with stochastic parameters. Suggested formal mathematical description for computer modeling.

Keywords: synchronous generator, stochastic parameters, stochastic matrix operator

Выполнен анализ математической модели синхронного генератора со стохастическими параметрами. Предложена формализация математического описания для компьютерного моделирования.

При исследовании электромеханических систем являются актуальными методы, основанные на применении матричных операторов [1]. Эти методы, называемые спектральными или проекционными, предполагают конечномерную аппроксимацию уравнения математиче-

ской модели системы, позволяя представить систему в виде линейного матричного оператора, переводящего столбцы из коэффициентов разложения вектора управления в столбцы из коэффициентов разложения соответствующих векторов координат состояния системы. Линейный матричный оператор представляет собой числовую матрицу, называемую спектральной или проекционной характеристикой системы. При таком подходе ЭМС, описываемая системой дифференциальных уравнений, аппроксимируется с использованием матричных операторов интегрирования и умножения [3].

Выражение, определяющее стохастический матричный оператор для исходной системы имеет вид

$$A = A_{X_0} \sum_{j=0}^m \sum_{v=0}^{\infty} (-1)^v \left[(P^n)^T \sum_{i=0}^{n-1} (\tilde{C}^{a_i^{cv}})^T (P^{-i})^T A_{X_0} \right]^v (P^n)^T (\tilde{C}^{b_j})^T (P^{-j})^T; A_{X_0} = \left[I + (P^n)^T \sum_{i=0}^{n-1} (\tilde{C}^{a_i^{cv}})^T (P^{-i})^T \right]^{-1},$$

где I – единичная матрица;

P – спектральная характеристика интегратора в базисе функций Уолша;

T – транспонирование;

$(\tilde{C}^{a_i})^T$ – неслучайная матрица оператора умножения на детерминированную составляющую коэффициента a_i ;

v – число членов разложения;

$(\tilde{C}^{a_i^{cv}})^T$ – случайная матрица оператора умножения на случайную составляющую коэффициента a_i ;

$(\tilde{C}^{b_j})^T$ – матрица оператора умножения на коэффициент b_j .

Представляя сигнал управления и координаты состояния ЭМС в виде разложений и учитывая, что их спектральные характеристики связаны зависимостью $\tilde{N}^X = AC^U$, запишем выражение для координат состояния ЭМС

$$X_i(t) = \hat{O}^T(t) C^X = \hat{O}^T(t) AC^U,$$

где C^U – спектральная характеристика сигнала управления

$$C^U = (c_1^U, \dots, c_l^U).$$

Осреднением по множеству реализаций случайных процессов определим математическое ожидание $m_x(t)$, дисперсию $D_x(t)$ и автокорреляционную функцию $R_{xx}(t_1, t_2)$ координат состояния электромеханической системы:

$$\begin{aligned} m_x(t) &= \Phi^T(t) \bar{AC}^{m_U}; R_{xx}(t_1, t_2) = \Phi^T(t_1) M \left[AC^U (C^U)^T A^T \right] \Phi(t_2) - m_x(t_1) m_x(t_2), \\ D_x(t) &= \Phi^T(t_1) M \left[AC^U (C^U)^T A^T \right] \Phi(t) - m_x^2(t), \end{aligned}$$

где A – детерминированный матричный оператор

$$A = A_{X_0} \sum_{j=0}^m \sum_{v=0}^{\infty} (-1)^v M \left\{ \left[(P^n)^T \sum_{i=0}^{n-1} (\tilde{C}^{a_i^{cv}})^T (P^{-i})^T A_{X_0} \right]^v (P^n)^T (\tilde{C}^{b_j})^T (P^{-j})^T \right\};$$

C^{m_U} – спектральная характеристика математического ожидания входного сигнала

$$C^{m_U} = (c_1^{m_U}, \dots, c_l^{m_U}).$$

При последовательном приближении точность представления определяется числом членов ряда, удерживаемых в соответствующем приближении v . Другой особенностью является необходимость вывода формул, уникальных для каждого приближения v , и сочетания порядков левой и правой частей исходного стохастического дифференциального уравнения ЭТС. Для обеспечения приемлемой точности получаемых результатов требуется рассматривать приближение достаточно высоких порядков, что порождает проблему вывода очень громоздких матричных формул. С другой стороны, процесс вывода этих формул включает в себя ограниченный набор многократно повторяющихся типовых аналитических преобразований, выполняемых при перемножении полиномов и раскрытии стохастических моментов при каждом слагаемом результата, что позволяет сделать вывод о возможности автоматизации указанных аналитических преобразований. В связи с описанными особенностями, алгоритмы, построенные на основе рассмотренного метода анализа электротехнических систем со случайными параметрами, являются численно-аналитическими.

Для исследования динамических процессов в стохастически нестационарной рассматриваемой системе воспользуемся методом, основанным на теории дифференциальных уравнений со случайно изменяющимися коэффициентами. Роль случайных коэффициентов в которой играют параметры объекта, при этом предполагается априори известными их статистические характеристики.

Для исследования динамических процессов в стохастически нестационарной рассматриваемой системе воспользуемся методом, основанным на теории дифференциальных уравнений со случайно изменяющимися коэффициентами. Роль случайных коэффициентов в которой играют параметры объекта, при этом предполагается априори известными их статистические характеристики.

В таком случае при введении вращающейся системы координат получим математическое описание синхронного генератора в следующем виде [2]:

$$\begin{cases} \frac{d\psi_d}{dt} = -r \cdot i_d + \psi_q \cdot \omega - u_d; \\ \frac{d\psi_q}{dt} = -r \cdot i_q + \psi_d \cdot \omega - u_q; \\ \frac{d\psi'_{fd}}{dt} = -r'_{fd} \cdot i'_{fd} + u'_{fd}; \\ \psi_d = L_d \cdot i_d - L_{md} \cdot i'_{fd}; \\ \psi_q = L_q \cdot i_q; \\ \psi'_{fd} = L_{fd} \cdot i'_{fd} - L_{md} \cdot i_d, \end{cases}$$

где u_d, u_q – напряжения обмоток статора в осях d и q ;

u'_{fd} – напряжение обмотки возбуждения, приведенной к стороне статора;

i_d, i_q – токи обмоток статора в осях d и q ;

i'_{fd} – ток обмотки возбуждения, приведенной к стороне статора;

r – активное сопротивление статора в осях d и q ;

r'_{fd} – активное сопротивление обмотки возбуждения, приведенной к стороне статора;

ψ_d, ψ_q – потокосцепление обмоток статора в осях d и q ;

ψ'_{fd} – потокосцепление обмотки возбуждения, приведенной к стороне статора;

L_d, L_q – полная индуктивность обмоток статора в осях d и q ;

L_{fd} – полная индуктивность обмотки возбуждения, приведенной к стороне статора;

L_{md}, L_{mq} – взаимная индуктивность обмоток статора и ротора в осях d и q ;

ω – мгновенная частота вращения ротора (эл. рад/с);

Исходная система дифференциальных уравнений в матричном представлении примет вид

$$\frac{d\psi_{dq}}{dt} = -R_{dq} \cdot i_{dq} + D_\omega \cdot \psi_{dq} + B \cdot u_{dq} + C \cdot f_{dq}.$$

Преобразуем данное выражение, представив его через потокосцепления в качестве переменных состояния:

Затем запишем следующие уравнения в матричной форме

$$\begin{cases} \psi_d = L_d \cdot i_d - L_{md} \cdot i'_{fd} \\ \psi_q = L_q \cdot i_q \\ \psi'_{fd} = L_{fd} \cdot i'_{fd} - L_{md} \cdot i_d \end{cases} \Rightarrow \begin{pmatrix} \psi_d \\ \psi_q \\ \psi'_{fd} \end{pmatrix} \Rightarrow \begin{pmatrix} L_d & 0 & -L_{md} \\ 0 & L_q & 0 \\ -L_{md} & 0 & L_{fd} \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} i_d \\ i_q \\ i'_{fd} \end{pmatrix} \Rightarrow \psi_{fd} = L_{dq} \cdot i_{dq}.$$

Выразим из него i_{dq}

$$\psi_{fd} = L_{dq} \cdot i_{dq} \Rightarrow L^{-1}_{dq} \cdot \psi_{dq} = L^{-1}_{dq} \cdot L_{dq} \cdot i_{dq} \Rightarrow i_{dq} = L^{-1}_{dq} \cdot \psi_{fd},$$

Подставим полученное выражение в уравнение системы

$$\frac{d\psi_{dq}}{dt} = -R_{dq} \cdot L^{-1}_{dq} \cdot \psi_{dq} + D_\omega \cdot \psi_{dq} + B \cdot u_{dq} + C \cdot f_{dq}.$$

Преобразуем

$$\frac{d\psi_{dq}}{dt} = D \cdot \psi_{dq} + D_\omega \cdot \psi_{dq} + B \cdot u_{dq} + C \cdot f_{dq},$$

где введено обозначение матрицы $D = -R_{dq} \cdot L^{-1}_{dq}$

$$D = \begin{pmatrix} r \cdot \frac{L_{fd}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} & 0 & r \cdot \frac{L_{md}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} \\ 0 & \frac{-r}{L_q} & 0 \\ r_{fd} \cdot \frac{L_{md}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} & 0 & r_{fd} \cdot \frac{L_d}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} \end{pmatrix}.$$

Далее

$$D \cdot \psi_{dq} + D_\omega \cdot \psi_{dq} = A \cdot \psi_{dq},$$

где A – матрица состояния системы

$$A = \begin{pmatrix} r \cdot \frac{L_{fd}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} & \omega & r \cdot \frac{L_{md}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} \\ -\omega & \frac{-r}{L_q} & 0 \\ r_{fd} \cdot \frac{L_{md}}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} & 0 & r_{fd} \cdot \frac{L_d}{-L_d \cdot L_{fd} + L_{md}^2} \end{pmatrix}.$$

При рассматриваемом подходе, когда мы считаем что элементы матриц уравнения являются случайными функциями, решение данного уравнения в аналитическом виде практически невозможно, а приближенные методы решения малоэффективны. Поэтому компьютерное моделирование является наиболее приемлемым методом подхода как при получении реализаций случайных процессов – решений уравнения, так и для получения статистических характеристик координат состояния системы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Адомиан, Дж. Стохастические системы: пер. с англ. / Дж. Адомиан. -М.: Мир, 1987.

2 Веников, В.А. Электрические системы: Управление переходными режимами электроэнергетических систем / В.А. Веников, Э.Н. Зуев, М.Г. Портной. -М.: Высш. шк., 1982. -375 с.

3 Лапин, С.В. Теория матричных операторов и ее приложение к задачам автоматического управления / С.В. Лапин, Н.Д. Егупов. -М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. -496 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синхронный генератор, стохастические параметры, стохастический матричный оператор

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Яковлев Дмитрий Александрович, аспирант ФГАОУ ВПО «СФУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 660075, г.Красноярск, ул.П.Прушинской, 2, ФГАОУ ВПО «СФУ»

УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГОБЛОКОВ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ

ЗАО «Интеравтоматика»

И.З. Черномзав, К.А. Нефёдов

POWER CONTROL OF UNITS AND POWER PLANTS FOR INCREASING STABILITY IN POWER SYSTEMS. DEVELOPMENT AND RESEARCH

Interautomatika

I.Z. Chernomzav, K.A. Nefyedov

Considered the dynamic characteristics 300 and 800 MW turbines attracted to anti-accident conditions management. The structure of general system unloading power plant to improve power system stability on the example of Kirishskiy GRES is published.

Keywords: power system, turbine, control, stability, unload power of turbines

Рассмотрены динамические характеристики турбин 300 и 800 МВт, привлекаемых к противоаварийному управлению. Приведена структура общестанционной системы разгрузки электростанции для повышения устойчивости энергосистемы на примере Киришинской ГРЭС.

Задача повышения устойчивости энергосистем средствами управления мощностью энергоблоков и электростанций уже длительное время остается актуальной. Этой задаче ЗАО «Интеравтоматика» уделяет большое внимание в рамках выполнения проектов АСУТП

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

и их внедрения на энергоблоках разной мощности.

Важным моментом при решении задач противоаварийной разгрузки турбин является реализация электрической части системы регулирования, которая позволила вытеснить большую часть гидравлических элементов, заменив их современной цифровой вычислительной техникой. В связи с этим упростились способы ввода команд управления в оставшиеся узлы гидравлической части системы регулирования турбин. В настоящее время в качестве преобразователей применяются ЭГП и ЭМП.

Функции импульсной и длительной разгрузки, а также защитные функции турбин реализуются в контроллере FM 458, имеющем цикл расчета 1-3 мс.

Программно-технические средства SIEMENS для создания современных эффективных ЭЧСР турбины в составе АСУТП блока:

- TELEPERM XP-R. Система автоматизации для крупных электростанций с наивысшим коэффициентом готовности и производством контроллерного оборудования в Москве;
- SIMATIC PCS 7. Система автоматизации для больших, средних и малых объектов;
- SPPA-T3000. Новейшая система автоматизации предназначена для автоматизации крупных электростанций с наивысшим коэффициентом готовности.

Внедренные ЗАО «Интеравтоматика» системы САРЧМ и ЭЧСР представлены в таблице 1 и 2

Таблица 1 – Список внедренных систем САРЧМ

Тип турбины	Объект	Ст. номер	ПТК	Год	Объем внедрения			Тип САР	
					АСУТП/ САРЧМ	ЭЧСР+ ПАА			
Паросиловые установки мощностью менее 200 МВт									
К-25 КТЗ	Мутновская ГеоЕС	1	PCS7 PS	2003	+/-	+	электронная (ЭГП)		
		2	PCS7 PS	2003	+/-	+	электронная (ЭГП)		
P-85-8,8	Красноярская ТЭЦ-1	10	ТПТС-51	2003	+/-	+	гидравлическая		
ПТ-60-130 ЛМЗ	Волжская ТЭЦ-1	1	ТПТС-51	2003	+/-	+	гидравлическая		
ПТ-60-130 ЛМЗ	Самарская ТЭЦ	2	ТПТС-51	2004	+/-	+	гидравлическая		
		4	ТПТС-51	2008	+/-	+	гидравлическая		
P-12 КТЗ	Туапсинский НПЗ ГПУ-ТЭЦ	–	SPPA-T3000	2012	+/-	+	электронная (ЭМП)		
Паросиловые установки 200 МВт									
K-200 ЛМЗ	Сургутская ГРЭС-1	16	ТПТС-51	2003	+/-	+	гидравлическая		
K-200 ЛМЗ	Щекинская ГРЭС	1	PCS7 PS	2005	-/+	+	гидравлическая		
		2	PCS7 PS	2005	-/+	+	гидравлическая		
K-215 ЛМЗ K-215 ЛМЗ	Харанорская ГРЭС	1	PCS7 PS	2005	-/+	+	гидравлическая		
		2	PCS7 PS	2006	+/-	+	гидравлическая		
		3	PCS7 PS	2012	+/-	+	электронная (ЭГП-С)		
K-200 ЛМЗ	Южноуральская ГРЭС	9	PCS7 PS	2008	-/+	+	гидравлическая		
K-225 ЛМЗ	Черепетская ГРЭС	8	PCS7 PS	2014	ЭЧСР	+	электронная (ЭГП-С)		
		9	PCS7 PS	2014	ЭЧСР	+	электронная (ЭГП-С)		
K-200 ХТЗ	Старобешевская ТЭС	11	PCS7 PS	2011	-/+	+	электронная (ЭМП)		
		13	PCS7 PS	2012	-/+	+	электронная (ЭМП)		
Паросиловые установки 250 МВт									
T-250 ТМЗ	ТЭЦ-25 Мосэнерго	7	SPPA-T3000	2007	+/-	+	гидравлическая		
		4	SPPA-T3000	2008	+/-	+	гидравлическая		
		5	SPPA-T3000	2011	+/-	+	гидравлическая		
T-250 ТМЗ	ТЭЦ-26 Мосэнерго	7	SPPA-T3000	2008	+/-	+	гидравлическая		
T-250 ТМЗ	ТЭЦ-21 Мосэнерго	8	SPPA-T3000	2009	+/-	+	гидравлическая		
		5	SPPA-T3000	2012	+/-	+	гидравлическая		
K-300 ЛМЗ	Киришская ГРЭС	4	PCS7 PS	2005	-/+	+	электронная (ЭМП)		
		2	PCS7 PS	2008	-/+	+	электронная (ЭМП)		
		5	PCS7 PS	2008	-/+	+	электронная (ЭМП)		
K-300 ХТЗ	Рефтинская ГРЭС	9	PCS7 PS	2006	-/+	+	гидравлическая		
		8	PCS7 PS	2007	-/+	+	гидравлическая		
		7	PCS7 PS	2008	-/+	+	гидравлическая		
K-300 ЛМЗ	Каширская ГРЭС	3	SPPA-T3000	2009	+/-	+	электронная (ЭМП)		

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Продолжение таблицы 1

Тип турбины	Объект	Ст. номер	ПТК	Год	Объем внедрения		
					АСУТП/ САРЧМ	ЭЧСР+ ПАА	Тип САР
Паросиловые установки 250 МВт							
К-300 ХТЗ	Зуевская ТЭС (Украина)	1	SPPA-T3000	2009	+/-	+	электронная (ЭМП)
		4	SPPA-T3000	2013	+/-	ЭЧСР	электронная (ЭМП)
К-300 ЛМЗ	Лукомльская ГРЭС (Беларусь)	4	PCS7 PS	2011	-/+	+	электронная (ЭМП)
Паросиловые установки 500 МВт							
K-500 ХТЗ	Рефтинская ГРЭС	10	ТПТС-51	1997	+/-	+	гидравлическая
Паросиловые установки 800 МВт							
К-800 ЛМЗ	Пермская ГРЭС	2	ТПТС-51	2004	+/-	+	электронная (ЭМП)
		1	ТПТС-51	2006	+/-	+	электронная (ЭМП)
		3	ТПТС-51	2007	-/+	+	электронная (ЭМП)
К-800 ЛМЗ	Березовская ГРЭС	1	ТПТС-51	2001	+/-	+	гидравлическая
		2	ТПТС-51	2003	+/-	+	гидравлическая
К-800 ЛМЗ	Суйчжун ТЭС (Китай)	1	ТПТС-51	2000	+/-	+	гидравлическая
		2	ТПТС-51	2001	+/-	+	гидравлическая
Парогазовые установки							
ПГУ-325	Ивановские ПГУ	1	ТПТС-51	2007	+/-	+	электронная (ЭГП-С)
К-110 ЛМЗ		2	ТПТС-51	2011	+/-	+	электронная (ЭГП-С)
ПГУ-450	Северо-западная ТЭЦ г.С.-Петербург	1	ТПТС-51	2010	+/-	+	электронная (ЭГП-С)
T-150 ЛМЗ		2	ТПТС-51	2013	+/-	+	электронная (ЭГП-С)
ПГУ-450	Калининградская ТЭЦ-2	1	ТПТС-51	2006	+/-	+	гидравлическая
T-150 ЛМЗ							
ПГУ-220	Тюменская ТЭЦ-1	2	SPPA-T3000	2011	+/-	+*	электронная (ЭГП-С)
T-130 ЛМЗ							
ПГУ-230	ТЭЦ Сисак (Хорватия)	3	SPPA-T3000	2012	+/-	+*	электронная (ЭГП-С)
K-80/65 ЛМЗ							
ПГУ-110	Вологодская ТЭЦ		SPPA-T3000	2012	+/-	+	электронная (ЭМП)
T-35 КТЗ							
ПГУ-460	Разданская ТЭС (Армения)		SPPA-T3000	2012	+/-	+	гидравлическая
K-300 ЛМЗ							
Атомные энергоблоки							
K-1000 ЛМЗ	Калининская АЭС	3	ТПТС-53	2004	+/-	+	гидравлическая
		4	ТПТС-53	2011	+/-	+	электронная (ЭГП-С)

*-ЭЧСРиЗ+ПАА

Таблица 2 – Внедренных систем ЭЧСР

Тип САР турбины	ПТК	Количество внедренных систем	Итого
Гидравлическая (ЭЧСР)	TPTC-51	13	26
	PCS7 PS	8	
	SPPA-T3000	5	
Электронная (ЭГП-С)	TPTC-51	5	33
	SPPA-T3000	2	
Электронная (ЭГП)	PCS7 PS	3	33
	TPTC-51	1	
Электронная (ЭМП)	PCS7 PS	2	33
	TPTC-51	6	
	PCS7 PS	9	
	SPPA-T3000	5	

Противоаварийная разгрузка электростанций (на примере Киришской ГРЭС). Принципы организации разгрузок:

- расчет управляющих воздействий по принципу 1ДО;
- расчет величины разгрузки каждого энергоблока в режиме on-line с учетом их исходной мощности, допустимости привлечения к разгрузкам;
- привлечение всех «здоровых» энергоблоков к разгрузкам;
- привлечение минимального количества выбранных энергоблоков с максимальным уровнем разгрузки;

- привлечение ОГ, если суммарная разгрузка недостаточна;
 - учет максимально допустимой разгрузки конденсационной части ГРЭС;
 - условия привлечения ПГУ к разгрузкам за счет ОГ ГТ1, а при необходимости ГТ1+ПТ.
- Структура ПАА Киришской ГРЭС приведена на рисунке 1.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

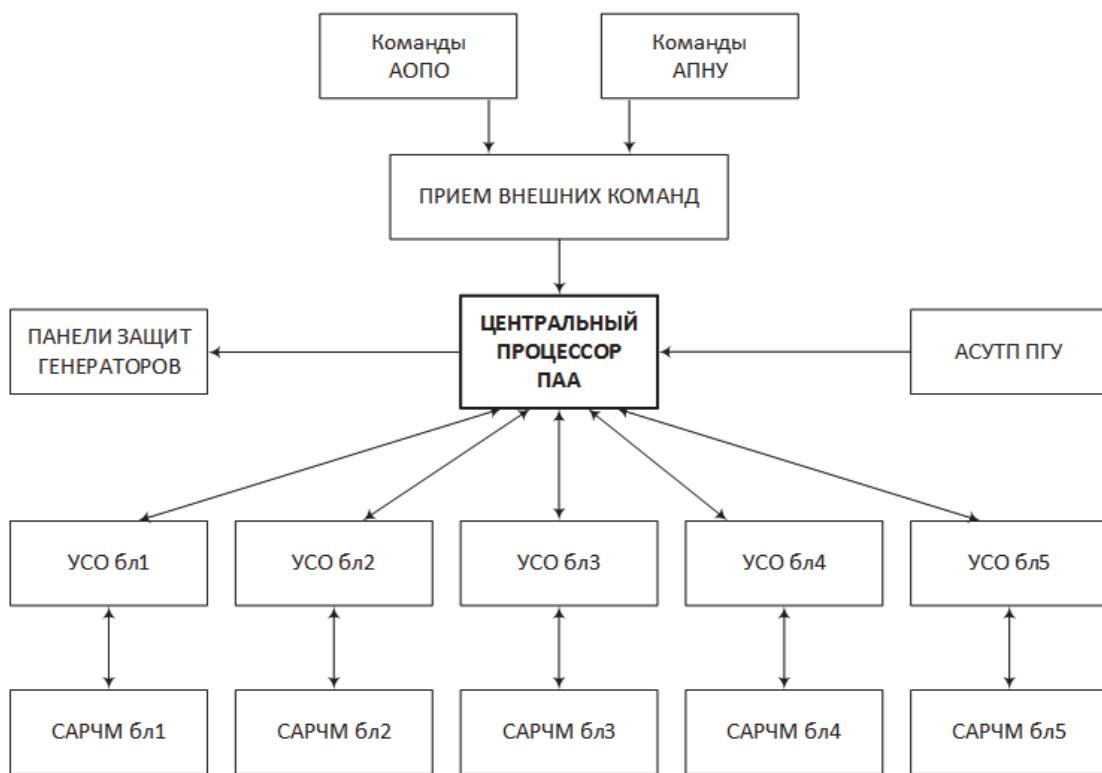


Рисунок 1 – Структура ПАА Киришской ГРЭС

Алгоритмы АПНУ и АОПО. АПНУ – разгрузка с максимальной скоростью для 5 ступеней: 250, 500, 750, 1000 и 1250 МВт.

Допустима избыточная разгрузка на 150 МВт и недоразгрузка на 10 МВт. Разработана программа расчета уровней разгрузки привлекаемых энергоблоков для каждого уровня разгрузки.

АОПО – разгрузка выполняется до исчезновения сигнала перегрузки. Запуск разгрузки при поступлении внешних дискретных сигналов. Определено три диапазона перегрузки: 0-250 МВт, 250-500 МВт и 500-750 МВт.

Оценка времени прохождения сигнала ПАА приведена на рисунке 2, видеограмма ПАА на рисунке 3.

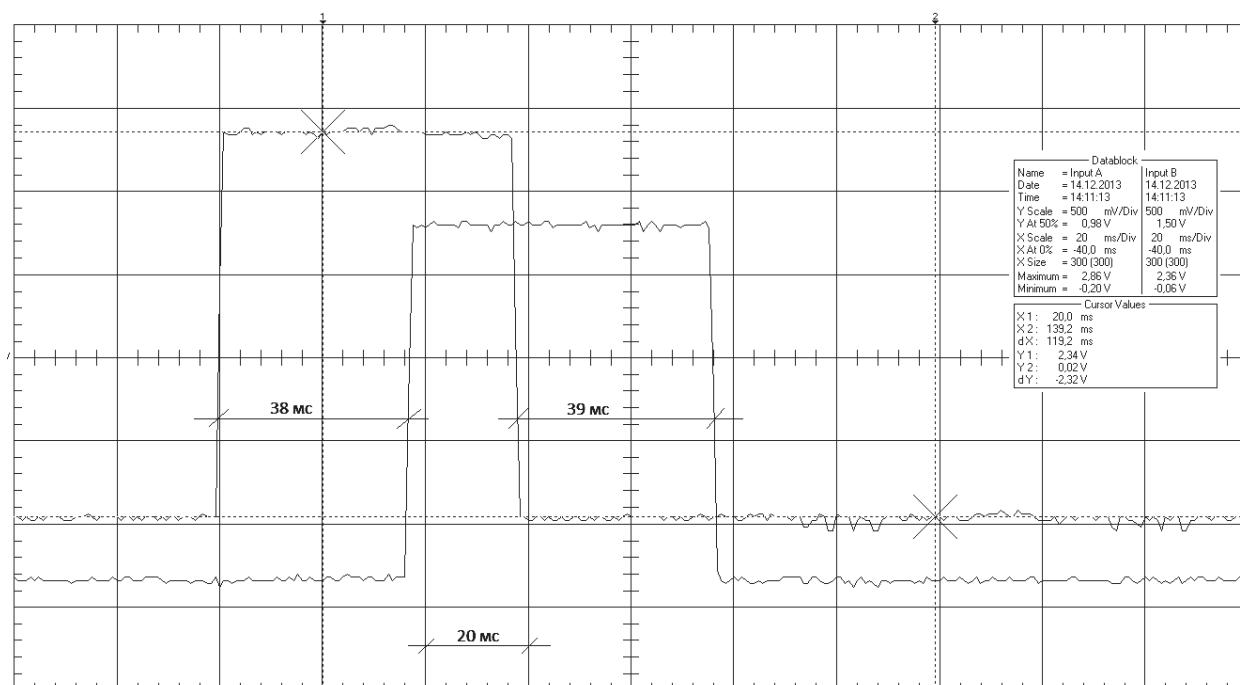


Рисунок 2 – Оценка времени прохождения сигнала ПАА

Заключение

1 Разработаны ПТК системы противоаварийной разгрузки электростанции и алгоритм распределения противоаварийных разгрузок энергоблоков по сигналу от энергосистемной противоаварийной автоматики, определяющего величину разгрузки электростанции.

2 Проведена проверка времени прохождения сигнала от возникновения команды энергосистемной противоаварийной автоматики до поступления сигнала разгрузки на каждый энергоблок.

3 Результаты испытаний подтвердили требуемое быстродействие разгрузки станции, а также соответствие величины разгрузки энергоблоков заданию системной противоаварийной автоматики.

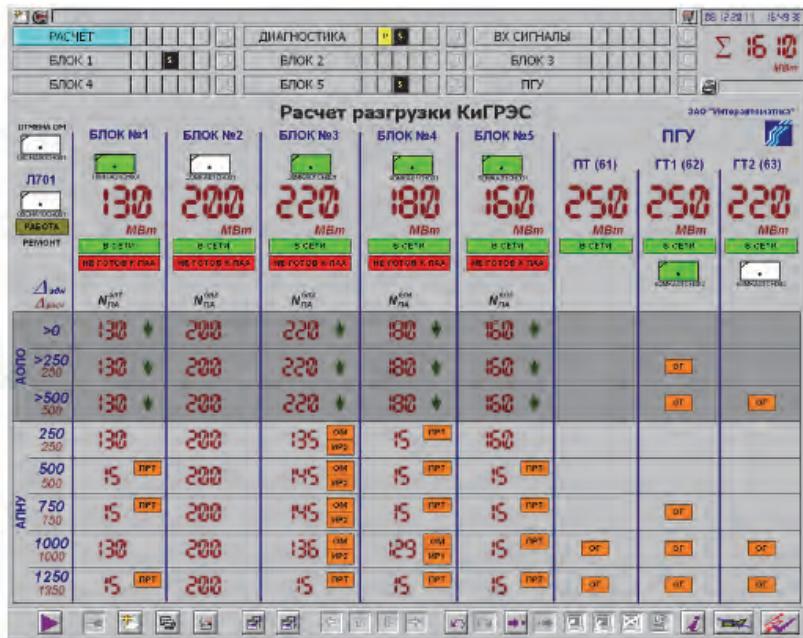


Рисунок 3 – Видеограмма ПАА

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября – 2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосистема, турбина, управление, устойчивость, разгрузки турбин

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Черномзав Игорь Зейликович, канд. техн. наук, главный специалист ЗАО «Интеравтоматика»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Нефёдов Кирилл Александрович, главный специалист, ЗАО «Интеравтоматика»
115280, г.Москва, ул.Автозаводская, 14, ЗАО «Интеравтоматика»

ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАПАСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ДОАВАРИЙНОМ И ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМАХ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

ЗАО «Интеравтоматика»

И.З. Черномзав

THE CALCULATIONS OF THE PARAMETER COMPLEX POWER SYSTEM FOR MONITORING THE SAFETY FACTOR OF THE STATIC STABILITY IN THE PRE-ACCIDENT AND POST-ACCIDENT CONDITIONS BY I&C POWER PLANTS
Interautomatika
I.Z. Chernomzav

An algorithm for calculating the mutual and their own moments and mutual generators angles operating in a complex power system is proposed. It is possible to use this information in the algorithm power control of power plant and for the support of the required stability factor.

Keywords: generator, mutual and own moments, mutual angles, power system

Предложен алгоритм расчета взаимных и собственных моментов и взаимных углов генераторов, работающих в сложной энергосистеме. Эта информация может быть использована в алгоритме управления мощностью электростанции и для поддержания требуемого запаса устойчивости.

Поддержание устойчивости сложной энергосистемы возлагается на централизованную систему противоаварийной автоматики (ЦСПА), задачей которой является сохранение динамической и статической устойчивости энергосистем при возникновении аварийных режимов. Она обрабатывает большой объем информации о режимах работы энергосистемы, ее структуре, возможных возмущениях и др., на основе которой формируются дискретные команды управления на электростанции и потребительские подстанции.

Такое управление направлено на достижение устойчивости энергосистемы, но оно избыточно и не оптимально в смысле минимизации интенсивности воздействий. Эта избыточность обусловлена с одной стороны относительно большим временем передачи управляющих воздействий, а с другой – отсутствием возможности формирования управления, адекватного возникающему возмущению при многообразии режимов и возмущений в энергосистеме.

Одним из способов оптимизации процесса поддержания требуемого запаса по статической устойчивости является дополнение ЦСПА локальными системами противоаварийной автоматики (ЛСПА), задачей которых является слежение за текущим коэффициентом запаса устойчивости, а при его снижении осуществлять соответствующие разгрузки энергоблоков для его восстановления. Для этого в ЛСПА должна непрерывно поступать информация об энергосистемных параметрах, в частности, о текущих значениях взаимных и собственных моментов генераторов и их взаимных углов. Наличие этой информации позволяет рассматривать объект управления наблюдаемым, а имеющиеся условия достаточны для формирования управления с целью сохранения устойчивости взаимных движений генераторов.

Задача данной работы ограничена поиском алгоритма расчета текущих значений взаимных и собственных моментов, а также взаимных углов эквивалентных генераторов (далее генераторов), работающих в сложной энергосистеме на примере двух и трехмашинной энергосистем.

За основу принята система уравнений движения генераторов, которая, с одной стороны, корректно описывает переходные процессы, а с другой стороны, является достаточно простой. В работах Жданова и Веникова указывается на возможность упрощения полных уравнений движения синхронной машины, предложенных Горевым и Парком, и использования упрощенных уравнений моментов Лебедева-Жданова. Такое замещение допустимо для анализа электромеханических переходных процессов при ограниченных или малых значениях отношений активных сопротивлений к реактивным сопротивлениям сети. Кроме того, в системе уравнений должны быть учтены демпфирующие свойства синхронной машины и регулирование частоты вращения турбин. Учет регуляторов частоты вращения турбин позволяет пренебречь саморегулированием энергосистемы по частоте при исследованиях колебаний сложной энергосистемы.

Уравнения генераторов для двухмашинной энергосистемы представим в виде:

$$M_{\Gamma 1} = M_{11} + M_{12} \sin(\delta_{12} - \alpha_{12}); \quad M_{\Gamma 2} = M_{22} + M_{12} \sin(\delta_{12} + \alpha_{12}), \quad (1)$$

где $M_{\Gamma 1}, M_{\Gamma 2}$ – мощности генераторов 1 и 2;

M_{11}, M_{12}, M_{22} – собственные и взаимный моменты генераторов;

δ_{12} , α_{12} – взаимный угол между векторами напряжений генераторов 1 и 2, и дополнительный угол, определяемый активными потерями генераторов.

Так как α_{12} мал, его величиной будем пренебречь.

Учитывая, что в энергосистеме происходят постоянные колебания частоты и мощности, для генератора могут быть в каждый момент времени t зафиксированы равенства:

– при $t = t_0$

$$M_{\Gamma 1}^0 = M_{11} + M_{12} \sin \delta_{12}^0 + k s_{12}^0;$$

– при $t = t_1$

$$M_{\Gamma 1}^1 = M_{11} + M_{12} \sin(\delta_{12}^0 + \Delta_1) + k_1 s_{12}^1; \quad (2)$$

– при $t = t_2$

$$M_{\Gamma 1}^{11} = M_{11} + M_{12} \sin(\delta_{12}^0 + \Delta_2) + k_1 s_{12}^{11},$$

где $M_{\Gamma 1}^0, M_{\Gamma 1}^1, M_{\Gamma 1}^{11}$ – текущие значения мощности генератора 1 при $t = t_0$, $t = t_1$, $t = t_2$.

Аналогичные индексы приняты для других координат.

Значения Δ_1 и Δ_2 являются приращениями угла и определяются из уравнений:

$$\Delta_1 = \int_0^{t_1} \omega_0 s_{12} dt; \quad \Delta_2 = \int_0^{t_2} \omega_0 s_{12} dt,$$

где ω_0 – номинальная частота вращения генератора;

s_{12}, δ_{12} – скольжение и взаимный угол;

k_1 – коэффициент, определяющий демпферный момент.

Произведя вычитание первого равенства при $t = t_0$ поочередно из второго при $t = t_1$ и третьего при $t = t_2$, получим:

$$(M_{r1}^1 - k_1 s_{12}^1) - (M_{r1}^0 - k_1 s_{12}^0) = M_{12} \left[\sin(\delta_{12}^0 + \Delta_1) - \sin \delta_{12}^0 \right]; \quad (3)$$

$$(M_{r1}^{11} - k_1 s_{12}^{11}) - (M_{r1}^0 - k_1 s_{12}^0) = M_{12} \left[\sin(\delta_{12}^0 + \Delta_2) - \sin \delta_{12}^0 \right]. \quad (4)$$

Разделив (3) на (4), получим

$$\frac{(M_{r1}^1 - k_1 s_{12}^1) - (M_{r1}^0 - k_1 s_{12}^0)}{(M_{r1}^{11} - k_1 s_{12}^{11}) - (M_{r1}^0 - k_1 s_{12}^0)} = \frac{\sin(\delta_{12}^0 + \Delta_1) - \sin \delta_{12}^0}{\sin(\delta_{12}^0 + \Delta_2) - \sin \delta_{12}^0}. \quad (5)$$

Так как численные значения левой части равенства (5) измеряемы и обозначив ее как λ_1 , перепишем (5) в виде

$$\lambda_1 (\sin \delta_{12}^0 \cos \Delta_2 + \cos \delta_{12}^0 \sin \Delta_2 - \sin \delta_{12}^0) = \sin \delta_{12}^0 \cos \Delta_1 + \cos \delta_{12}^0 \sin \Delta_1 - \sin \delta_{12}^0,$$

из которого следует

$$\operatorname{tg} \delta_{12}^0 = \frac{\lambda_1 \sin \Delta_2 - \sin \Delta_1}{(\cos \Delta_1 - 1) + \lambda_1 (1 - \cos \Delta_2)}. \quad (6)$$

Равенство (6) определяет δ_{12}^0 при отличии знаменателя от нуля.

Взаимный момент M_{12} определяется из уравнения (4), а собственный момент M_{11} вычисляется из уравнения (2) при $t = t_0$.

Заметим, что из уравнений генератора 2, аналогичных уравнениям (2)-(4), также следует равенство (6). Собственный момент генератора 2 определяется из системы уравнений этого генератора.

Погрешности расчета моментов генераторов оценена путем решения уравнений движения двухмашинной энергосистемы:

$$T_1 \frac{ds_1}{dt} = M_{T_1} - M_{r1} = M_{T_1} - M_{11} - M_{12} \sin \delta_{12} - k_1 s_{12};$$

$$T_2 \frac{ds_2}{dt} = M_{T_2} - M_{r2} = M_{T_2} - M_{22} - M_{12} \sin \delta_{12} - k_1 s_{12};$$

$$s_{12} = s_1 - s_2; \delta_{12} = \int \omega_0 s_{12} dt; T_3 \frac{dM_{T_1}}{dt} + M_{T_1} = X_1 - \frac{1}{\sigma_1} s_1; T_4 \frac{dM_{T_2}}{dt} + M_{T_2} = X_2 - \frac{1}{\sigma_2} s_2,$$

где M_{T_1}, M_{T_2} – моменты турбин;

T_1, T_2 – постоянные инерции роторов турбогенераторов;

s_1, s_2, s_{12} – абсолютные скольжения генераторов и их относительное скольжение;

k_1 – коэффициент демпфирования, учитывающий асинхронные моменты;

T_3, T_4 – постоянные времени изменения моментов турбин;

X_1, X_2 – заданные значения моментов турбин;

σ_1, σ_2 – статизмы системы регулирования турбин обоих генераторов.

Численные значения параметров для расчетов заданы следующими: $T_1 = T_2 = 10$ с; $T_3 = T_4 = 0,5$ с; $M_{r1} = 1,6$; $M_{r2} = 0,2$; $M_{12} = 1,8$; $\sigma_1 = \sigma_2 = 5\%$; $X_1 = X_2 = 1,0$; $\omega_0 = 314$; $k_1 = 1$.

Обозначим начальные условия:

$$M_{T_1}(0) = M_{T_2}(0) = 1,0; s_1(0) = s_2(0) = 0; \delta_{12}(0) = \arcsin 0,5 \text{ или } \delta_{12}(0) = 30^\circ.$$

В качестве возмущения принято снижение M_{12} от исходного значения 1,6 до 0,25 на интервале времени от момента $t = 0,1$ с до $t = 0,3$ с, после чего значение M_{12} восстанавливается. В таблице зафиксированы параметры энергосистемы на ограниченном интервале переходного процесса.

Подставляя в уравнения (2)-(6) измерения текущих значений переменных M_{r1}, s_1, s_2 при t_0, t_1 и t_2 , а также вычисленные значения приращений углов Δ_1 и Δ_2 , найдем значения взаимного и собственных моментов генераторов: $M_{12} = 1,670$; $M_{11} = 0,164$, $M_{22} = 1,860$. Эти параметры близки к заданным в исходных уравнениях движения энергосистемы и подтверждают возможность определения моментов в двухмашинной энергосистеме. Для оценки взаимных и собственных моментов генераторов в аварийных режимах энергосистемы, интервалы

времени между t_0, t_1, t_2 могут быть выбраны близкими к периоду свободных колебаний. Для конкретного расчета приняты следующие моменты времени: $t_0 = 0,05$ с, $t_1 = 0,3$ с, $t_2 = 0,45$ с.

Таблица – Параметры энергосистемы на ограниченном интервале переходного процесса

t	s_1	s_2	s_{12}	δ_{12}	$M_{\Gamma 1}$	M_{12}
0,000	0,000	0,000	0,000	30,00	1,000	1,600
0,050	0,000	0,000	0,000	29,985	0,999	1,600
0,100	0,000	0,000	0,000	29,998	0,200	0,250
0,150	0,004	-0,004	0,008	33,797	0,216	0,250
0,200	0,008	-0,008	0,016	44,610	0,232	0,250
0,250	0,012	-0,012	0,024	62,197	0,246	0,250
0,300	0,015	-0,015	0,030	86,268	1,856	1,600
0,350	0,010	-0,010	0,021	108,986	1,755	1,600
0,400	0,007	-0,007	0,014	124,323	1,550	1,600
0,450	0,004	-0,004	0,008	133,950	1,370	1,600

Рассмотрим алгоритм определения моментов и углов для трехмашинной энергосистемы.

Для каждого генератора справедливы следующие уравнения:

$$\begin{aligned} M_{\Gamma 1} &= M_{11} + M_{12} \sin \delta_{12} + M_{13} \sin \delta_{13} + k_1 s_{12} + k_1 s_{13}; \\ M_{\Gamma 2} &= M_{22} + M_{12} \sin \delta_{12} + M_{23} \sin \delta_{23} + k_2 s_{12} + k_2 s_{23}; \\ M_{\Gamma 3} &= M_{33} + M_{13} \sin \delta_{13} + M_{23} \sin \delta_{23} + k_3 s_{13} + k_3 s_{23}. \end{aligned} \quad (7)$$

Представим уравнения генератора 1 для t_i ($i = 0, 1, \dots, 4$) с учетом приращений, вызванных реальными колебаниями частоты и мощности в энергосистеме:

– при $t = t_0$

$$M_{\Gamma 1} = M_{11} + M_{12} \sin \delta_{12} + M_{13} \sin \delta_{13} + k_1 s_{12} + k_1 s_{13};$$

– при $t = t_1$

$$M_{\Gamma 1}^1 = M_{11} + M_{12} \sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^1) + M_{13} \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^1) + k_1 s_{12}^1 + k_1 s_{13}^1, \quad (8)$$

– ...

– при $t = t_4$

$$M_{\Gamma 1}^4 = M_{11} + M_{12} \sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^4) + M_{13} \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^4) + k_1 s_{12}^4 + k_1 s_{13}^4$$

где $M_{\Gamma 1}, M_{\Gamma 1}^1, \dots, M_{\Gamma 1}^4$ – мощности генераторов при $t = t_0, t_1, \dots, t_4$;

$\Delta_{12}^1, \Delta_{12}^2, \Delta_{13}^1, \Delta_{13}^2$ – значения приращений углов δ_{12} и δ_{13} при $t = t_0, t_1, \dots, t_4$.

Уравнения, определяющие $M_{\Gamma 3}$, аналогичны (8) и для простоты опущены. Вычитая из уравнений, соответствующих моментам времени t_1, t_2, t_3 и t_4 , уравнение при $t = t_0$, получим значения $\zeta_1 \dots \zeta_4$ как

$$\begin{aligned} \zeta_1 &= (M_{\Gamma 1}^1 - M_{\Gamma 1}) - k_1(s_{12}^1 + s_{13}^1) - k_1(s_{12} + s_{13}) = M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^1) - \sin \delta_{12}] + M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^1) - \sin \delta_{13}], \\ &\dots \\ \zeta_4 &= (M_{\Gamma 1}^4 - M_{\Gamma 1}) - k_1(s_{12}^4 + s_{13}^4) - k_1(s_{12} + s_{13}) = M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^4) - \sin \delta_{12}] + M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^4) - \sin \delta_{13}]. \end{aligned} \quad (9)$$

Так как левые части уравнений (9) могут быть вычислены для заданных моментов времени, найдем значения $\lambda_1 = \zeta_1 - \zeta_2$ и $\lambda_2 = \zeta_3 - \zeta_4$:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^1) - \sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^2)] + M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^1) - \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^2)]; \\ \lambda_2 &= M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^3) - \sin(\delta_{12} + \Delta_{12}^4)] + M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^3) - \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^4)]. \end{aligned}$$

Аналогично определим λ_3 и λ_4 для генератора 2, а также λ_5 и λ_6 для генератора 3:

$$\begin{aligned} \lambda_3 &= M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{21}^1) - \sin(\delta_{12} + \Delta_{21}^2)] + M_{13} [\sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^1) - \sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^2)]; \\ \lambda_4 &= M_{12} [\sin(\delta_{12} + \Delta_{21}^3) - \sin(\delta_{12} + \Delta_{21}^4)] + M_{13} [\sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^3) - \sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^4)]; \\ \lambda_5 &= M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^1) - \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^2)] + M_{23} [\sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^1) - \sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^2)]; \\ \lambda_6 &= M_{13} [\sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^3) - \sin(\delta_{13} + \Delta_{13}^4)] + M_{23} [\sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^3) - \sin(\delta_{23} + \Delta_{23}^4)]. \end{aligned}$$

Опуская ряд преобразований, получим λ_1 и λ_2 для генератора 1:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= M_{12} \left[(\cos \Delta_{12}^1 - \cos \Delta_{12}^2) \sin \delta_{12} + (\sin \Delta_{12}^1 - \sin \Delta_{12}^2) \cos \delta_{12} \right] + \\ &\quad + M_{13} \left[(\cos \Delta_{13}^1 - \cos \Delta_{13}^2) \sin \delta_{13} + (\sin \Delta_{13}^1 - \sin \Delta_{13}^2) \cos \delta_{13} \right]; \\ \lambda_2 &= M_{12} \left[(\cos \Delta_{12}^3 - \cos \Delta_{12}^4) \sin \delta_{12} + (\sin \Delta_{12}^3 - \sin \Delta_{12}^4) \cos \delta_{12} \right] + \\ &\quad + M_{13} \left[(\cos \Delta_{13}^3 - \cos \Delta_{13}^4) \sin \delta_{13} + (\sin \Delta_{13}^3 - \sin \Delta_{13}^4) \cos \delta_{13} \right];\end{aligned}$$

Проведя аналогичные преобразования уравнений для генераторов 2 и 3 с учетом вычисленных значений Δ (вычисляются на интервале переходного процесса в заданные моменты времени), получим для трехмашинной энергосистемы систему уравнений:

$$\begin{aligned}\lambda_1 &= M_{12} (a_1 \sin \delta_{12} + a_2 \cos \delta_{12}) + M_{13} (a_3 \sin \delta_{13} + a_4 \cos \delta_{13}); \\ \lambda_2 &= M_{12} (a_5 \sin \delta_{12} + a_6 \cos \delta_{12}) + M_{13} (a_7 \sin \delta_{13} + a_8 \cos \delta_{13}); \\ \lambda_3 &= M_{12} (a_9 \sin \delta_{12} + a_{10} \cos \delta_{12}) + M_{23} (a_{11} \sin \delta_{23} + a_{12} \cos \delta_{23}); \\ \lambda_4 &= M_{12} (a_{13} \sin \delta_{12} + a_{14} \cos \delta_{12}) + M_{23} (a_{15} \sin \delta_{23} + a_{16} \cos \delta_{23}); \\ \lambda_5 &= M_{13} (a_{17} \sin \delta_{13} + a_{18} \cos \delta_{13}) + M_{23} (a_{19} \sin \delta_{23} + a_{20} \cos \delta_{23}); \\ \lambda_6 &= M_{13} (a_{21} \sin \delta_{13} + a_{22} \cos \delta_{13}) + M_{23} (a_{23} \sin \delta_{23} + a_{24} \cos \delta_{23}),\end{aligned}\tag{10}$$

где a_i – результат вычисления функций от Δ_i .

Решение системы уравнений (10) определяет значения взаимных моментов M_{12}, M_{13}, M_{23} , а также углы $\delta_{12}, \delta_{13}, \delta_{23}$.

Собственные моменты определяются при подстановке найденных значений взаимных моментов и углов в исходные уравнения (8). Этот подход для оценки взаимных и собственных моментов и взаимных углов применим для энергосистемы с n генераторами.

Точность определения моментов и углов генераторов зависит от длительности интервалов времени между измерениями мгновенных значений параметров, используемых в расчетах. Эту длительность следует выбирать с учетом двух противоречивых условий:

- при чрезмерно малых интервалах времени растет влияние неконтролируемых шумов;
- большая длительность интервалов ведет к увеличению отрезка времени, на котором расчетные значения моментов и углов постоянны, что приводит к запаздыванию изменений расчетных параметров при их использовании в алгоритмах управления. При расчете взаимных и собственных моментов и углов для оценки запаса по статической устойчивости интервалы времени могут задаваться достаточно большими, так как процессы нарушения статической устойчивости относительно медленные. Для измерения параметров при расчетах моментов генераторов и их углов необходимо использовать систему единого времени с синхронизацией начала t_{i-1} и окончания t_i интервалов с точным астрономическим временем (с этой целью используются системы GPS или ГЛОНАСС). Все расчеты могут выполняться в центральном вычислителе (например, в ЦСПА), куда должны поступать все текущие измерения, а результаты расчетов взаимных моментов и углов должны передаваться на электростанции для использования в системах управления мощностью энергоблоков.

Передача всей информации может выполняться с использованием системы мониторинга электромеханических переходных режимов (СМПР). Эта система обеспечивает измерения параметров с большим быстродействием, при этом все они синхронизированы с точностью до 1 мс. По предварительной оценке время обновления циклической информации о взаимных углах и моментах генераторов может составить 200-300 мс. Такие запаздывания передачи информации для формирования команд на разгрузки энергоблоков приемлемы при организации слежения за заданным коэффициентом запаса устойчивости в аварийных и послеаварийных режимах энергосистемы.

Выводы:

- Разработан алгоритм расчета взаимных и собственных моментов генераторов и их взаимных углов применительно к сложной энергосистеме. Для выполнения расчетов взаимных и собственных моментов и углов генераторов необходимы измерения текущих значений частоты вращения турбин и мощностей электростанций и передавать их в центральный измеритель, а результаты расчетов транслировать на управляемые электростанции.

– Информация о текущих значениях взаимных моментов и углов эквивалентных генераторов может быть использована для поддержания требуемого запаса по статической устой-

чивости в доаварийных и послеаварийных режимах энергосистемы средствами управления мощностью энергоблоков в нормальных и послеаварийных режимах.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: генератор, взаимный и собственный моменты, взаимные углы, энергосистема
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Черномзяв Игорь Зейликович, канд. техн. наук, главный специалист ЗАО «Интеравтоматика»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 115280, г.Москва, ул.Автозаводская, 14, ЗАО «Интеравтоматика»

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕУСТОЙЧИВЫХ ВЗАИМНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Н.Н. Лизалек, В.Ф. Тонышев, К.С. Мочалин, Д.Н. Бородин

THE STRUCTURAL UNSTABLE MUTUAL MOVEMENTS EXPLORATION OF THE POWER SYSTEMS FOR DETERMINING THE COMPOSITION OF THE EMERGENCY MANAGEMENT AIMS
Institute of power system automation
Novosibirsk state academy of water transport
N.N. Lizalek, V.F. Tonyshev, K.S. Mochalin, D.N. Borodin

The proposed approach for the selection of power systems emergency control structure is based on the analysis of the common properties of the unstable processes with mutual oscillations in power systems on a variety of perturbations. The approach is based on the exploration of the potential topography system's function for the intersystem oscillation tracks of the system oscillators in emergency and post-emergency modes using the calculation methods.

Keywords: dynamic stability, structurally organized movement, energy-time diagrams

Описан подход к выбору структуры противоаварийной автоматики энергосистемы, основанный на анализе свойств совокупности неустойчивых процессов при взаимных колебаниях в энергосистемах на множестве возмущений. В основу подхода положены исследования рельефа потенциальной функции системы на траекториях межсистемных колебаний осцилляторов системы в аварийном и послеаварийном режимах путем расчета работ.

Сложность электромеханических переходных процессов в энергосистемах проявляется в сложности и многообразии процессов нарушения устойчивости параллельной работы синхронных машин системы. Известно много разновидностей нарушений устойчивости. Наиболее широко встречающимися являются неустойчивые процессы при «малых» (апериодическая статическая устойчивость) и «больших» (динамическая устойчивость) возмущениях.

Нарушения устойчивости в сложных энергосистемах характеризуются рядом количественных и качественных показателей. К первым относятся, в частности, временные (темповые) характеристики процесса, числовые показатели, описывающие интенсивность воздействий (аварийных возмущений), приводящих к неустойчивому взаимному движению, количественные оценки запаса устойчивости. Ко вторым можно отнести характер неустойчивости (при «малых» или «больших» возмущениях, «сползание» или самораскачивание, в первом или последующих циклах качаний), а также способ деления системы на не синхронно движущиеся части.

Обычно каждый процесс нарушения устойчивости рассматривается отдельно как уникальное событие. Однако при построении системной автоматики предотвращения нарушений устойчивости (АПНУ) процессы нарушения устойчивости группируются в некоторые совокупности, объединяемые в рамках иерархических систем управления. Эта группировка, в той или иной степени, связана с естественными динамическими свойствами объекта управления.

Действительно, энергосистема, как единый динамический объект, должна проявлять себя таковым и в процессах нарушения устойчивости. Это означает, что правомерна постановка задачи исследования совокупности процессов нарушений устойчивости в сложной

энергосистеме и выявления связей между отдельными её представителями, обусловленных динамическими свойствами системы. Изучение этих связей позволяет перейти к описанию структурных составляющих (архитектуры) этой совокупности неустойчивых взаимных движений энергосистемы.

Наиболее известным и часто применяемым способом исследования устойчивости является непосредственное интегрирование уравнений движения сложной системы. Развитие алгоритмов численного интегрирования и существенное, качественное улучшение характеристик используемых вычислительных средств, позволяют провести расчётные исследования переходных процессов в любых схемах и для любых возмущений.

Определённые трудности возникают, однако, при постановках задач устойчивости обзорного характера, в которых важны не конкретные результаты расчёта того или иного переходного процесса, а свойства некоторых совокупностей неустойчивых движений в энергосистеме. Понятно, что решение таких задач на основе расчётов переходных процессов затруднено. Приоритетным для таких задач остаётся применение качественных методов анализа устойчивости.

Электромеханические переходные процессы, в том числе и процессы нарушения устойчивости параллельной работы синхронных машин системы, самым тесным образом связаны с физическими эффектами, наблюдающимися при колебательных движениях. Наблюдать их можно, в основном, во время выполнения расчётных исследований. Два из них наиболее существенны для рассматриваемой задачи.

Первый эффект формулируется на основе наблюдения за перемещениями векторов напряжения в различных узлах системы, если их углы измеряются относительно общей оси отсчёта, вращающейся со скоростью центра инерции системы. Выделенные таким образом колебания в системе около её центра инерции происходят в форме движений областей (подсистем), любые смежные из которых движутся в противоположных направлениях, то есть колебательное движение волнообразно распределено по системе. По мере развития переходного процесса количество и состав подсистем, а также способ их объединения межрегиональными связями, то есть структура (топология) наблюдаемого колебательного движения, в общем случае, изменяются (рисунок 1).

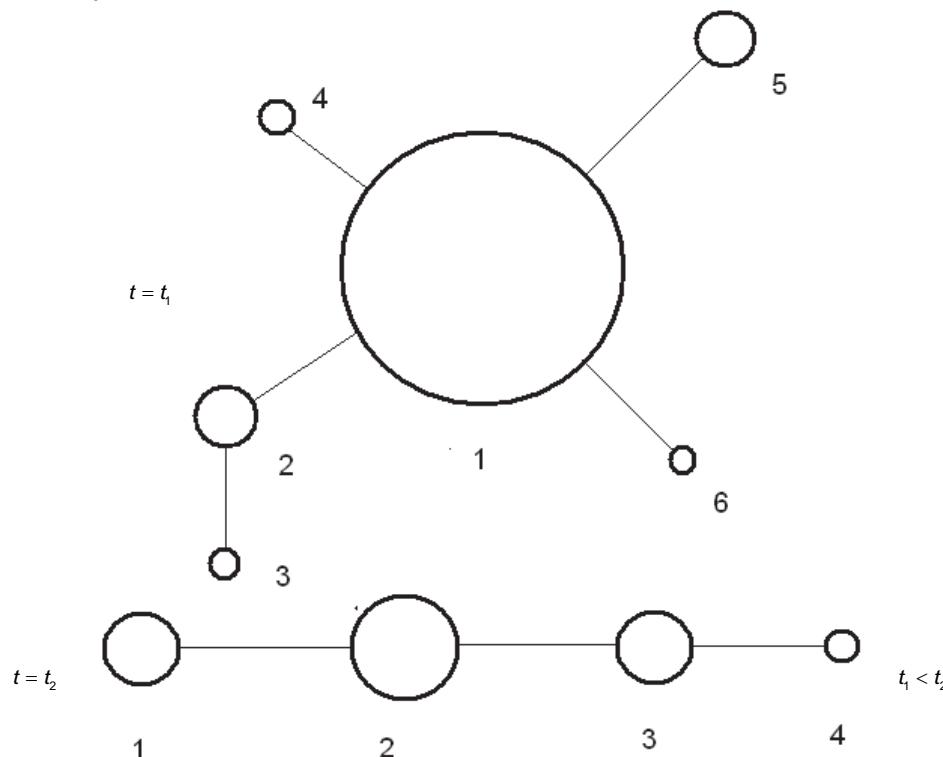


Рисунок 1 – Развитие колебательной структуры во времени

Этот эффект можно представить символическим равенством:

Колебания происходят в виде противоположно направленных движений смежных областей системы = Топология колебательных движений определена их волновым характером

Второй качественный результат связан с изменением пространственного положения сечения первично развивающегося асинхронного хода при дальнейшем увеличении тяжести возмущения, уже приводящего к нарушению устойчивости. Пусть, для примера, тяжесть возмущения в некотором фиксированном узле системы увеличивается путём роста длительности проходящего короткого замыкания (КЗ). Наблюдаемое нарушение устойчивости параллельной работы синхронных машин системы по некоторому её сечению, затем, после дальнейшего увеличения длительности КЗ, иногда (но не всегда) может смениться более быстрым развитием неустойчивости уже по другому сечению (обычно расположенному ближе к месту аварии). Таких изменений структуры неустойчивости при возрастании тяжести возмущения может быть даже несколько. Таким образом, может наблюдаться изменение структуры неустойчивости при изменении тяжести фиксированного в пространстве возмущения. Этот эффект естественно связать с происходящими при утяжелении изменениями в соотношениях между условиями развития движения по предельным (по устойчивости) траекториям в протяжённой энергосистеме, содержащей множество слабых звеньев, проявляющихся в разных её местах. Эти слабые звенья проявляют себя развитием неустойчивости при разной величине предельного возмущения в рассматриваемом месте системы через различное время. Оказывается, что наблюдаемая структура первично развивающегося асинхронного хода определяется местоположением слабого звена, достигающего критического по устойчивости состояния первым. Это можно представить так:

$$\text{Изменение структуры неустойчивости при изменении тяжести возмущения} = \frac{\text{Изменение местоположения слабого звена, достигающего критического состояния первым}}{}$$

Это свойство системы можно проиллюстрировать результатами расчета переходных процессов. На рисунке 2 результат расчета переходного процесса в энергосистеме представлен годографами векторов напряжения в различных узлах системы (изображен только фрагмент ее схемы).

Переходный процесс вызван включением шунта короткого замыкания в узле 5220 в течение 0,17 с. Из рассмотрения годографов видно, что в системе развивается асинхронный ход по сечению, образованному линиями 2200-4202 и 4201-4203. Так как узлы 4202 и 4203 практически находятся в центрах качаний, то сечением асинхронного хода можно также полагать линии 4205-4202 и 4205-4203. Изображенное на рисунке 2 состояние достигнуто через 3,3 с после включения шунта короткого замыкания.

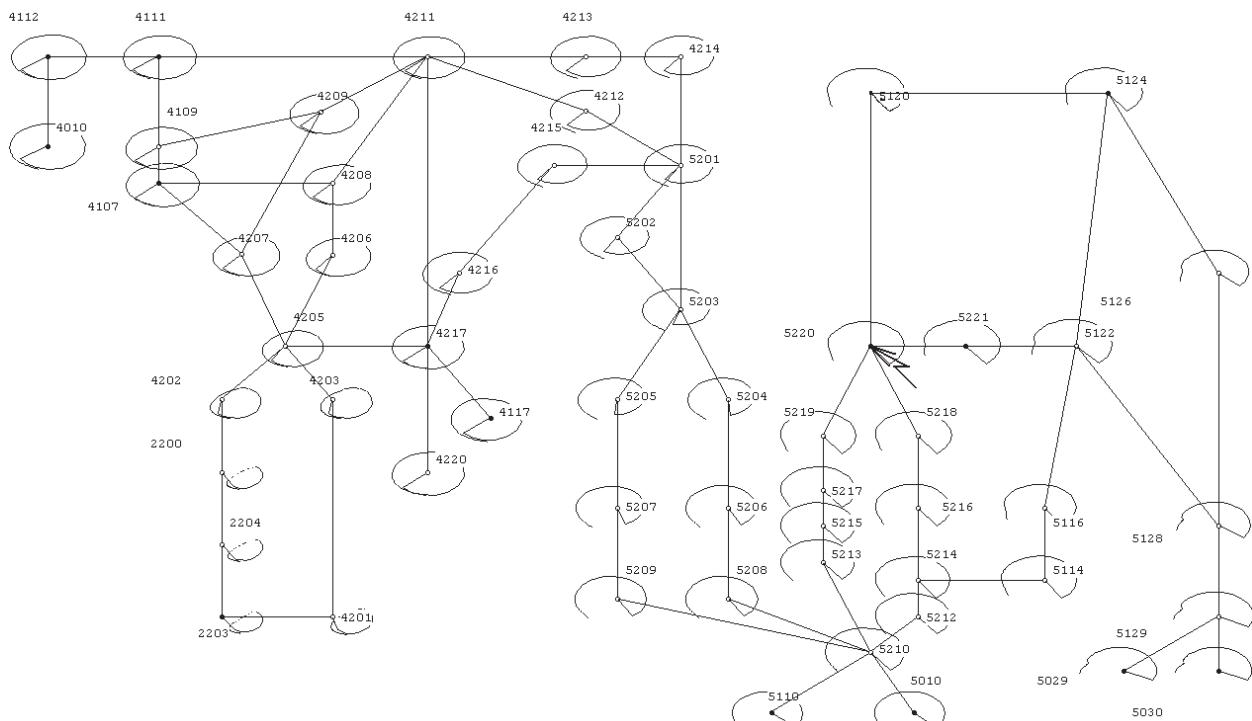


Рисунок 2 – Нарушение устойчивости в системе при коротком замыкании в узле 5220 длительностью 0,17 с

На рисунке 3 представлен результат расчета переходного процесса в той же схеме (и исходном режиме) при коротком замыкании в том же узле при его длительности 0,34 с. В системе развивается асинхронный ход по сечению, составленному из линий 5128-5122 и 5128-5126 (или 5122-5124 и 5126-5124). Зафиксированное на рисунке состояние возникло через 1,1 с после включения шунта короткого замыкания.

В обоих приведенных примерах вектора напряжения в выпадающей из синхронизма части системы совершили около одного полного оборота относительно общей оси отсчета углов (за которую принята продольная ось ротора самой мощной синхронной машины в системе). Рассматривая движения векторов напряжения до нарушения устойчивости легко установить, что в первом случае это нарушение происходит во втором цикле качаний, а во втором – в первом. При промежуточном значении длительности короткого замыкания (между 0,17 с и 0,34 с) сечение асинхронного хода не меняет своего положения и совпадает с первым из приведенных случаев. При длительности короткого замыкания меньше 0,17 с нарушения устойчивости не наблюдается.

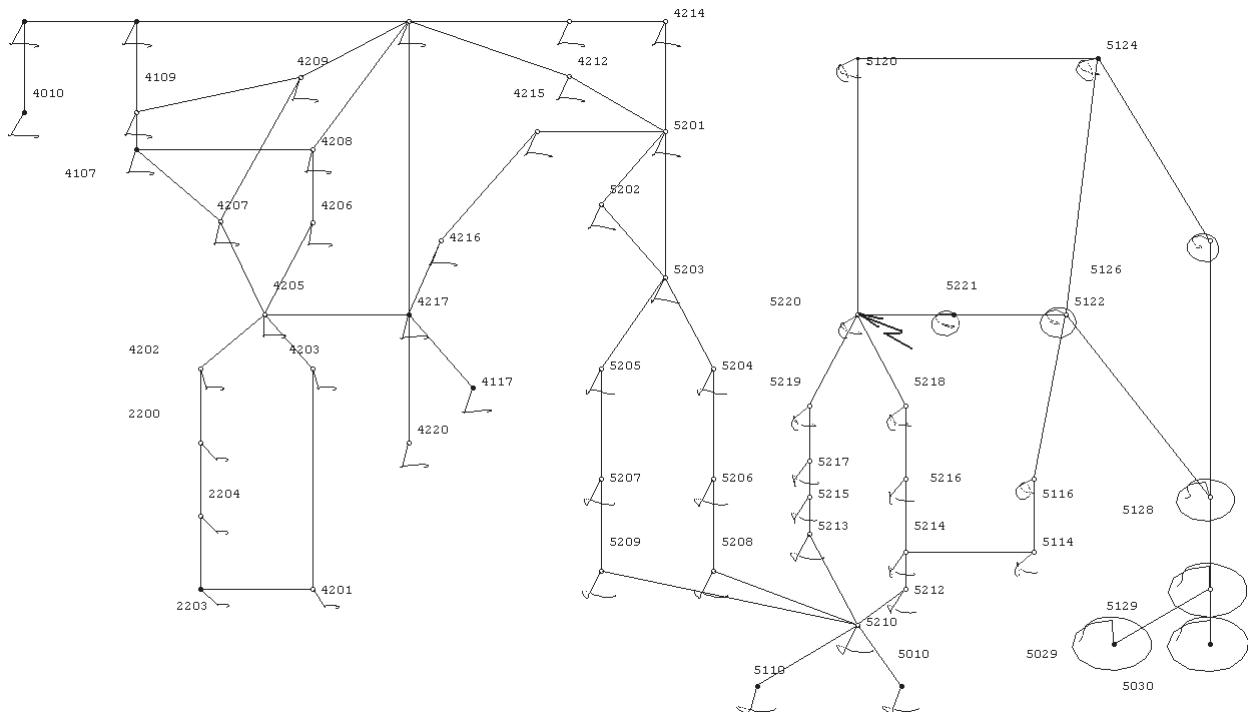


Рисунок 3 – Нарушение устойчивости в системе при коротком замыкании в узле 5220 длительностью 0,34 с

Аналогичные эффекты по изменению положения сечения асинхронного хода наблюдаются и при других (но не всех) авариях в рассматриваемой схеме, а также и в других схемах энергосистем. Этот расчетный пример показывает, что нарушения устойчивости в энергосистемах образуют некоторую совокупность, отдельные элементы которой находятся между собой в определенных соотношениях (пространственных, временных, энергетических). Причем, весьма существенное значение имеет пространственная характеристика неустойчивого движения (положение сечения асинхронного хода), определяемая волновым характером электромеханических колебаний в неоднородной системе.

Важность пространственного расположения развивающегося асинхронного хода при исследованиях совокупностей нарушений устойчивости требует изменения постановки задачи устойчивости. Можно сказать, что при решении таких задач необходим переход от классической математической теории устойчивости к исследованию процессов распада синхронно работающей системы при «малых» или «больших» возмущениях, когда определение сечения асинхронного хода становится неотъемлемой частью процедуры анализа устойчивости.

В [1] предложен структурный анализ устойчивости (неустойчивости) электромеханических переходных процессов, основанный на исследованиях структурной организации колебательных движений, содержащий в своей постановке задачу определения положения сечения асинхронного хода (структуры неустойчивости). Он использует понятие об осциллято-

рах системы, представляющих её совокупностью подсистем, связанных потенциально «слабыми» связями. Структура каждого осциллятора определяется на основе расчёта собственных «малых» колебаний системы. Перевозбуждение осцилляторов и приводит к развитию неустойчивого взаимного движения. Качественный характер структурный анализ устойчивости приобретает за счёт использования возможных траекторий движения, для определения которых не требуется численное интегрирование уравнений движения [1].

Явления структурной организации колебаний проявляются тогда, когда эти колебания происходят, то есть когда осцилляторы системы обладают некоторым запасом энергии. В условиях постоянно действующих возмущений они всегда обладают некоторой энергией колебаний, содержащей потенциальную и кинетическую составляющие. Нарушения устойчивости при малых или больших возмущениях происходят при превышении кинетической составляющей энергии колебаний некоторых пределов, определяемых глубинами потенциальных ям для взаимных колебаний.

Изменения кинетической и потенциальной энергии системы и её частей определены траекторией движения. Для их расчёта вычисляются работы, совершаемые на протяжении некоторым образом выбранной возможной траектории. Расчёт работ в аварийном режиме используется для определения кинетической энергии. Целью расчёта работ на стадии свободного движения становится исследование рельефа многомерной потенциальной функции системы вдоль рассматриваемой траектории, определяющего высоту потенциальных барьеров, защищающих движущиеся объекты энергосистемы от выпадения из синхронизма в послеаварийном режиме [2].

При выборе траекторий движения системы, исследуемых на устойчивость, используются траектории, заведомо опасные по устойчивости. Благодаря первому из отмеченных выше свойств электромеханических колебаний эти траектории целесообразно выбирать на основе исследований структуры колебательного движения, развивающегося в системе при той или иной аварии. В этом случае появляется возможность исследования рельефа потенциальной функции, связанного с региональными (групповыми) движениями в системе. Понятно, что в общем случае потребуется не одна траектория, а некоторая их совокупность – связка возможных траекторий, состав которой зависит от состава возбужденных осцилляторов системы.

Все эти соображения лежат в основе предложенного в [1] способа исследования электромеханических переходных процессов с помощью энерговременных диаграмм неустойчивости при аварийных ситуациях, обусловленных проходящими возмущениями. Эти возмущения моделируются парами противоположных коммутаций одного и того же элемента или элементов системы. С помощью таких пар коммутаций можно моделировать, например, проходящие короткие замыкания, отключения одной или нескольких линий электропередачи, сбросы и набросы нагрузки в одном или нескольких узлах системы и др. Рассматриваемая аварийная ситуация характеризуется её длительностью, определяемой интервалом времени между первой и второй группой коммутаций (интервалом аварийного возмущения). После второй, восстановливающей доаварийную схему группы коммутаций, система свободно движется в послеаварийном режиме.

В упрощенном виде (без «хвостов» запредельных возмущений [1]) энерговременная диаграмма для конкретной (одной) аварийной ситуации, в общем случае, имеет вид, представленный на рисунке 4.

Горизонтальные отрезки прямых показывают энергетические уровни кинетической энергии колебаний $K_1 \dots K_4$ (предельные возмущения), возбуждающие различные структуры неустойчивости (варианты «распада» системы) при аварии. Длина этих отрезков $T_1 \dots T_4$ равна времени после начала аварии, в течение которого система, при этом предельном возмущении, достигнет точки невозврата (критических взаимных смещений внутри системы). Для каждого уровня это время складывается из длительности предельного по устойчивости аварийного возмущения (отмеченного вертикальной меткой) и времени выхода системы на критические смещения в её свободном движении в послеаварийном режиме. Каждому уровню соответствует осциллятор с именем f_i и сечение асинхронного хода s_i (являющееся одним из сечений этого осциллятора). Для некоторых аварий нижние энергетические уровни могут определять неустойчивость во втором цикле качаний.

Отметим, что обнаружение нарушения устойчивости, например, при временном отключении линий, может использоваться для выявления нарушения устойчивости и в случае

безвозвратной их потери. Это обстоятельство позволяет выявлять случаи отсутствия устойчивого послеаварийного режима при отключении связей, рассматриваемые как частный случай нарушения динамической устойчивости.

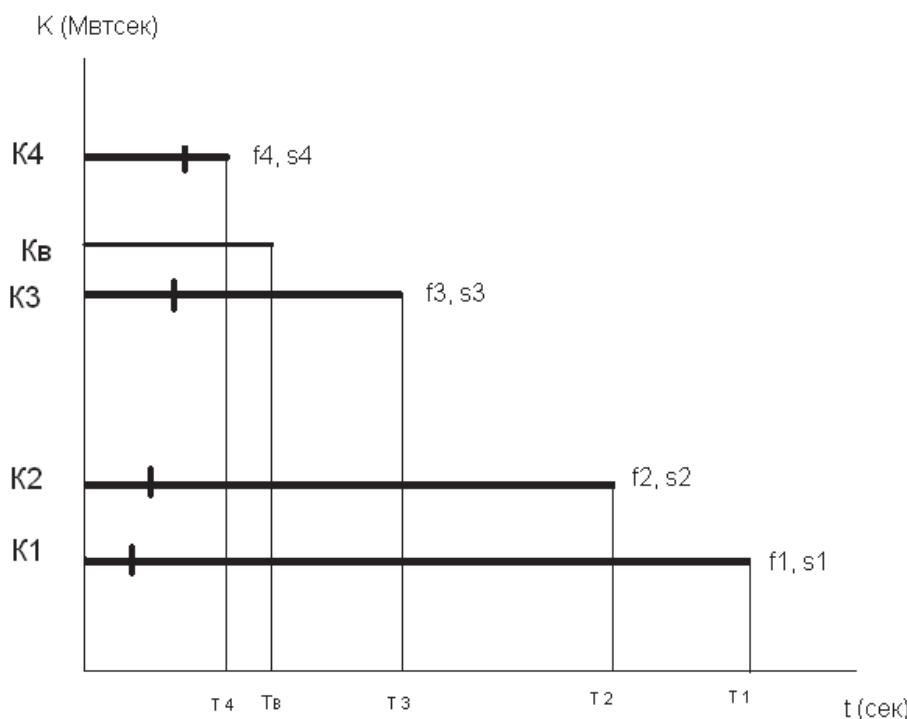


Рисунок 4 – Энерговременная диаграмма неустойчивости для одной аварийной ситуации

Энерговременная диаграмма для конкретной аварии уже позволяет определить некоторые черты противоаварийного управления, предназначенного для обеспечения устойчивости при её возникновении. Для примера, рассмотрим возмущающее воздействие с энергией возмущения K_B (зависящей от длительности существования аварийного режима), превышающей K_3 ($K_B > K_3$). Предположим, что величина K_B становится известной системе управления в момент времени T_B после возникновения аварии (время идентификации и оценки тяжести аварии). Если $T_B > T_3$, то к моменту готовности системы управления к принятию решений нарушения устойчивости еще не произойдет. Избыток энергии возмущения $K_B - K_3$ характеризует объём управляемого воздействия, обеспечивающего сохранение устойчивости по структуре неустойчивости с номером «3». Величины $K_3 - K_2$ и $K_2 - K_1$ определяют объёмы противоаварийных воздействий, обеспечивающих последовательное сохранение устойчивости по структурам «2» и «1». Ресурсы времени на их осуществление составляют: на третьем энергетическом уровне – $(T_3 - T_B)$, на втором – $(T_2 - T_B)$, на первом – $(T_1 - T_B)$. В основу построения, в общем случае иерархического, управления для обеспечения динамической устойчивости переходного процесса при рассматриваемой аварии можно положить временные и пространственные соотношения между развитием неустойчивости по разным структурам. На верхних уровнях иерархии оказываются управления, ориентированные на медленно развивающиеся типы (структуры) неустойчивости, как правило, содержащие динамические подсистемы наибольших пространственных масштабов. Нижние уровни иерархии предназначены для предотвращения быстро развивающихся процессов нарушения устойчивости по структурам неустойчивости с динамическими подсистемами меньшего масштаба, являющиеся частями подсистем из верхних уровней иерархии.

Последовательность возбуждения структур неустойчивости при росте тяжести конкретной аварии дает иерархический ряд неустойчивости. Если, при перемещении от первых членов этого ряда к последующим, время нарушения устойчивости монотонно снижается, то такой ряд является правильным. В рамках правильного иерархического ряда возбуждение неустойчивости характеризуется все большей и большей локализацией и ускорением процессов развития неустойчивости при росте тяжести возмущения (сечения асинхронного хода «приближаются» к месту возмущения). Правильный иерархический ряд возбуждения неус-

тойчивости характеризует естественные свойства пространственно-временной избирательности развития неустойчивости в энергосистеме, приближающейся по своим свойствам к равнопрочной (однородной по устойчивости). Описание общего случая энергетических, пространственных и временных соотношений в развитии неустойчивости при конкретном возмущении содержит в себе все основные черты, присущие процессам нарушения устойчивости энергосистем и на множестве возмущений.

Для выбора противоаварийной автоматики необходим анализ не одной, а множества аварийных ситуаций. Способ проведения такого анализа может основываться на следующих соображениях. Получаемое с помощью энерговременных диаграмм описание неустойчивости дает компактную и, в тоже время, весьма полную и общую (унифицированную) совокупность энергетических, пространственных и временных характеристик этого явления, применимую для анализа различных и, даже, разнотипных аварийных ситуаций. Энергетическая характеристика – это величина предельной энергии возмущения. Пространственная – это расположение аварийного воздействия и сечения асинхронного хода. Временная – это длительность предельного возмущения и время, затрачиваемое на выход системы в точку невозврата. Общность этих характеристик неустойчивости для различных аварий позволяет строить энерговременную диаграмму не для одной, а для ансамбля аварийных ситуаций, сопоставлять их между собой и группировать по различным признакам. В состав ансамбля могут включаться разнородные аварии, например: короткие замыкания и отключения линий. Кроме того, результаты исследований устойчивости энергосистемы, находящейся в различных исходных состояниях (исходных режимах), также могут включаться в такой ансамбль.

Признаки, используемые для группировки аварий из их ансамбля, могут быть различными. Они могут иметь энергетический, пространственный, временной или качественный характер. Кроме того, группировка возможна и по нескольким признакам. Например, временные признаки могут использоваться для: выделения всех случаев, в которых предельное время аварии меньше заданного, или, полное время выхода на предельные смещения меньше заданного. Пространственные признаки позволяют, например: отобрать все аварии, происходящие в заданном регионе системы, или, выделить аварии, при которых сечения асинхронного хода размещаются в заданной части системы (к примеру, «слева» от заданного сечения на схеме системы). Последний вариант позволяет определить район системы, аварии в котором приводят к сходному по топологии развитию асинхронных движений в ней (район топологического подобия развития аварий). Энергетические признаки приводят к выделению аварий, принадлежащих некоторой полосе энергии предельных возмущений. Качественные признаки позволяют, например: выделить только короткие замыкания, или, выделить только однофазные короткие замыкания, или, выделить случаи отключения линий и т.п. Группировка по нескольким признакам может проводиться, например, так: выделить все аварии, возникающие в заданной части системы, приводящие к развитию асинхронного хода по сечениям в заданном её регионе, или, выделить аварии по какому либо из временных признаков, происходящие в заданной части системы и т.п.

Операции селекции аварий из их ансамбля позволяют устанавливать общность и различие между ними. Они легко могут быть formalизованы на основе широко используемого кластерного анализа баз данных. Получаемые при этом результаты в виде совокупности кластеров с заданными свойствами описывают уже архитектуру неустойчивых движений системы при аварийных ситуациях.

Кластеры аварийных ситуаций, приводящих к нарушениям устойчивости, определяют структуру проблем устойчивости системы, а, следовательно, и структуру задач, которые могут быть поставлены перед системами противоаварийного управления по обеспечению устойчивости. В связи с этим, информация об архитектуре неустойчивых движений может выступать одной из исходных предпосылок для проведения выбора структуры системы противоаварийного управления объединённой энергосистемы и формулировки задач отдельных, входящих в неё, подсистем.

Для исследования совокупностей неустойчивых процессов в энергосистеме необходим переход от классической математической теории устойчивости к исследованию физических процессов распада синхронно работающей системы при «малых» или «больших» возмущениях. При этом определение сечения асинхронного хода становится неотъемлемой частью процедуры анализа устойчивости.

Единообразие физических характеристик неустойчивого движения, достигаемое при его энерговременном описании, позволяет формировать ансамбль аварийных ситуаций, сопро-

вождающихся нарушениями устойчивости, из однотипных, сопоставимых между собой записей.

Кластерный анализ этого ансамбля по различным задаваемым признакам позволяет исследовать архитектуру неустойчивых движений сложной энергосистемы.

Архитектура неустойчивости взаимных движений системы может быть использована для определения структуры задач по обеспечению устойчивости и выступать исходной предпосылкой при выборе структуры системы противоаварийного управления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Структура электромеханических колебаний и устойчивость энергосистем / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, М.В. Данилов, К.С. Мочалин // Электричество. -2011. -№6. -С. 11-19.

2 Оценка динамической устойчивости энергосистем на основе метода площадей / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, Е.Ю. Попова, А.С. Вторушин // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Энергетика. -2013. -№1. -С. 139-152.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамическая устойчивость, структурно-организованное движение, энерговременные диаграммы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, главный научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»
Тонышев Владимир Федорович, канд. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Мочалин Константин Сергеевич, старший преподаватель ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Бородин Дмитрий Николаевич, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ И ПОТОКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В МОСКОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ

ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Е.В. Тузлукова, С.Н. Макаровский

CONTROLLING VOLTAGE AND REACTIVE POWER FLOW IN THE POWER SYSTEM OF MOSCOW
Institute ENERGOSETPROJECT

E.V. Tuzlukova, S.N. Makarovskiy

The paper considers issues in controlling electrical power state in aspect of voltage and reactive power flow. It analyses efficiency of various means of control such as electrical generators, shunt reactors and OLTP at transformers.

Keywords: power system of Moscow, voltage, reactive power, secondary voltage control

Рассматриваются проблемы управления электрическим режимом Московской ЭС по напряжению и реактивной мощности. Анализируется эффективность различных средств управления, таких как генераторы электростанций, шунтирующие реакторы и устройства РПН автотрансформаторов.

В ближайшей перспективе для Московской энергосистемы (МЭС) одной из наиболее острых и сложных будет задача управления электрическим режимом и, в частности, поддержание допустимых уровней напряжения в режимах минимальных нагрузок. В большой степени это связано с сооружением новых кабельных линий электропередачи (КЛЭП) и переустройством существующих воздушных ЛЭП высокого и сверхвысокого напряжения в КЛЭП.

Требования к алгоритму управления электрическим режимом МЭС определяются следующими специфическими особенностями, которые в значительной мере обусловлены высокой плотностью нагрузки в мегаполисе, расположенному в её центре:

- высокой концентрацией генерирующих мощностей;
- высокой плотностью и сложной топологией электрических сетей 110-500 кВ;
- высоким уровнем токов короткого замыкания в этой части МЭС, для снижения которых в настоящее время широко используется оперативное секционирование электростанций и электрических сетей, что приводит к частому изменению их топологии;
- большим количеством кабельных ЛЭП 110 кВ и выше, которые генерируют значительную реактивную мощность;
- высокой неравномерностью суточного и сезонного графика нагрузки МЭС.

Следует также отметить, что МЭС входит в состав ОЭС Центра и имеет сильные электрические связи со смежными энергосистемами в сетях всех классов напряжения.

В таблице 1 приведен ожидаемый на период 2015 г. баланс реактивной мощности и показатели уровня напряжения в сети 110-500 кВ МЭС в зимний максимум и летний минимум нагрузки.

Таблица 1 – Ожидаемый на период 2015 г. баланс реактивной мощности и показатели уровня напряжения в сети 110-500 кВ МЭС

Показатель	Зимний максимум	Летний минимум
Q нагрузки, Мвар	9311	3449
Потери Q в ЛЭП и АТ, потребление Q ШР	4278	3407
Доля нагрузки от суммарного потребления Q, %	69	50
Генерация Q электростанциями, МВар	7379	725
Генерация ЛЭП, Мвар	5327	5690
Генерация БСК и внешней сетью, Мвар	883	0
Доля ЛЭП в покрытии потребности в, %	39	89
Доля ЛЭП и электростанций в покрытии потребности в Q, %	93	100
Средняя выработка станциями своего регулировочного диапазона по Q, %	55	7
Среднее U в сети 110 кВ, % от $U_{ном}$	106,7	112,4
Среднее U в сети 220 кВ, % от $U_{ном}$	104,2	108,4
Среднее U в сети 5000 кВ, % от $U_{ном}$	102,0	104,4
СКО U в сети 110 кВ, % от $U_{ном}$	1,9	1,7
СКО U в сети 220 кВ, % от $U_{ном}$	1,9	1,3
СКО U в сети 5000 кВ, % от $U_{ном}$	0,8	0,5

Здесь следует обратить внимание на высокую долю генерации ЛЭП в покрытии потребности в реактивной мощности и высокий средний уровень напряжения в сети 110-500 кВ в летний минимум нагрузки. Также интерес представляют малые величины среднеквадратичных отклонений напряжения в сетях 110-500 кВ. Этот факт свидетельствует о том, что для МЭС характерно достаточно равномерное распределение напряжения по подстанциям, что позволяет использовать среднее напряжение как достаточно представительный параметр анализа электрического режима МЭС.

Далее приводятся результаты анализа эффективности таких технических средств управления электрическим режимом, как генераторы, шунтирующие реакторы (ШР) и устройства РПН автотрансформаторов (АТ) связи.

Анализировались данные, полученные в серии расчетов установившихся режимов, которые выполнялись для разного количества управляемых генераторов, устройств РПН, и разной мощности ШР. Предполагалось, что на всех генераторах включены автоматические регуляторы возбуждения, и они участвуют в первичном регулировании напряжения. Вариации напряжения на выводах генераторов далее именуются как «вторичное регулирование напряжения», а генераторы, участвующие во вторичном регулировании, называются управляемыми.

В таблице 2 показано изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ по сравнению с исходным режимом при изменении на один процент напряжения на выводах группы управляемых генераторов. В качестве группы управляемых генераторов рассматривается от 5 до 72 генераторов в Московской ЭС и дополнительно 31 генератор на крупных электростанциях в ОЭС Центра.

Из таблицы 2 можно увидеть, что при изменении напряжения на выводах группы из пяти управляемых генераторов изменение их реактивной мощности практически полностью компенсируется неуправляемыми генераторами, в том числе во внешней электрической сети. При этом остальные составляющие баланса изменяются незначительно, а среднее напряжение в сети снижается на 0,04-0,06% от номинального. Привлечение ко вторичному регулированию напряжения большего числа генераторов значительно увеличивает его эффективность.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 2 – Изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ

Показатели*	Количество управляемых генераторов							
	5	15	21	29	38	59	72	103
Изменение потребления реактивной мощности нагрузкой и ШР, %	-0,013	-0,048	-0,070	-0,118	-0,131	-0,153	-0,221	-0,305
Изменение потерь реактивной мощности в ЛЭП и АТ, %	0,041	0,082	0,078	0,089	0,069	0,236	0,260	0,320
Изменение генерации реактивной мощности ЛЭП, %	-0,092	-0,398	-0,583	-0,911	-1,026	-1,213	-1,511	-1,831
Изменение генерации реактивной мощности управляемыми генераторами, % в том числе:	-0,969	-2,393	-3,308	-4,105	-4,428	-3,416	-3,095	1,840
– изменение реактивной мощности, поступающей из внешней сети, %	0	0	0	0	0	0	0	2,172
Изменение генерации реактивной мощности неуправляемыми генераторами, % в том числе:	1,090	2,825	3,899	4,988	5,393	4,712	4,646	0,003
– изменение реактивной мощности, поступающей из внешней сети, %	0,235	0,997	1,322	2,086	2,676	3,095	4,689	0
Изменение среднего напряжения в сети 110 кВ, %	0,05	0,20	0,29	0,48	0,62	0,75	0,89	1,09
Изменение среднего напряжения в сети 220 кВ, %	0,06	0,23	0,33	0,53	0,64	0,75	0,88	1,06
Изменение среднего напряжения в сети 500 кВ, %	0,04	0,15	0,21	0,36	0,42	0,48	0,73	0,97

*-изменение реактивной мощности приведено в % от суммарного потребления реактивной мощности в исходном режиме

В таблице 3 показано изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ при включении ШР суммарной мощностью 400, 1200 и 2000 МВА в сеть 220 кВ МЭС.

Таблица 3 – Изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ при включении ШР суммарной мощностью 400, 1200 и 2000 МВА в сеть 220 кВ МЭС

Показатели*	Мощность устанавливаемых ШР		
	400 МВА	1200 МВА	2000 МВА
Изменение потребления реактивной мощности нагрузкой и ШР, %	6,433	18,992	31,078
Изменение потерь реактивной мощности в ЛЭП и АТ, %	-0,022	0,157	0,571
Изменение генерации реактивной мощности ЛЭП, %	-0,705	-2,009	-3,226
Изменение генерации реактивной мощности генераторами, в т.ч. , %	7,121	21,161	34,878
– генераторами, коммутируемыми в сеть 110 кВ	0,594	1,773	3,167
– генераторами, коммутируемыми в сеть 220 кВ	4,205	12,378	20,473
– генераторами, коммутируемыми в сеть 500 кВ	0,929	2,657	4,152
Внешней сетью	1,393	4,354	7,086
Изменение среднего напряжения в сети 110 кВ, %	-0,30	-0,94	-1,54
Изменение среднего напряжения в сети 220 кВ, %	-0,33	-1,03	-1,71
Изменение среднего напряжения в сети 500 кВ, %	-0,27	-0,77	-1,19

*-изменение реактивной мощности приведено в % от суммарного потребления реактивной мощности в исходном режиме

Как следует из таблицы 3, большая часть реактивной мощности, потребляемой ШР, компенсируется электрически близкими генераторами, участвующими в первичном регулировании напряжения. При этом изменение среднего напряжения в сети 110-500 кВ на 100 МВА установленной мощности ШР составляет порядка 0,08% от номинального.

Вариация коэффициентов трансформации шиноединительных АТ в общем случае оказывает влияние на уровни как высшего (ВН), так и среднего (СН) напряжения, но с противоположными знаками [1].

В таблице 4 показано влияние изменения коэффициентов трансформации на один процент от номинального для групп из 5-25 АТ 500/220 кВ и 19-163 АТ 220/110 кВ на изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ.

Таблица 4 – Изменения коэффициентов трансформации на один процент от номинального для групп из 5-25 АТ 500/220 кВ и 19-163 АТ 220/110 кВ на изменение составляющих баланса реактивной мощности и показателей уровня напряжения в сети 110-500 кВ

Показатели*	Количество управляемых АТ							
	АТ 500/220 кВ				АТ 220/110 кВ			
	4	10	16	25	19	70	121	163
Изменение потребления реактивной мощности нагрузкой и ШР, %	-0,059	-0,075	-0,101	-0,148	-0,003	0,003	0,037	0,033
Изменение потерь реактивной мощности в ЛЭП и АТ, %	0,055	0,122	0,158	0,211	0,057	0,249	0,060	-0,435
Изменение генерации реактивной мощности ЛЭП, %	0,007	0,003	0,007	0,002	-0,032	-0,199	-0,141	-0,326
Изменение генерации реактивной мощности генераторами, % в том числе:	-0,009	0,045	0,050	0,062	0,088	0,454	0,241	-0,072
– генераторами, коммутируемыми в сеть 110 кВ	-0,076	-0,175	-0,277	-0,339	0,066	0,348	0,694	1,460
– генераторами, коммутируемыми в сеть 220 кВ	-0,468	-1,307	-1,832	-2,509	-0,066	-0,298	-0,615	-1,525
– генераторами, коммутируемыми в сеть 500 кВ	0,357	0,737	1,066	1,629	0,021	0,011	-0,084	-0,111
Изменение среднего напряжения в сети 110 кВ, %	-0,02	-0,03	-0,09	-0,18	0,11	0,40	0,64	0,87
Изменение среднего напряжения в сети 220 кВ, %	-0,03	-0,07	-0,13	-0,22	0,00	-0,04	-0,11	-0,14
Изменение среднего напряжения в сети 500 кВ, %	0,10	0,23	0,33	0,44	0,01	0,01	0,00	-0,01

*изменение реактивной мощности приведено в % от суммарного потребления реактивной мощности в исходном режиме;

Выполненные расчеты подтверждают то обстоятельство, что МЭС является концентрированным генерирующим узлом (КГУ) [2] со сложной внутренней структурой.

Многоцелевое эффективное управление электрическим режимом такого КГУ должно обеспечить в том числе:

- поддержание в допустимых пределах уровней напряжения электрической сети;
- поддержание в допустимых пределах загрузки генераторов реактивной мощностью и ее однозначное распределение между генераторами в пределах каждой группы и между группами генераторов;
- одновременность исчерпания располагаемых диапазонов регулирования реактивной мощности всех групп генераторов;
- минимум коммутаций ШР, БСК и устройств РПН;
- минимум потерь активной мощности в электрических сетях.

Описанные выше особенности управляемости электрического режима МЭС как КГУ дают степени свободы для достижения перечисленных целей управления. С другой стороны, те же особенности диктуют необходимость скоординированного управления всеми генерирующими источниками реактивной мощности, СКРМ и устройствами РПН шиноединительных АТ при одновременной передаче управляющих воздействий на все управляемые техни-

ческие средства. Попытки управления электрическим режимом КГУ МЭС путем нескоординированного локального воздействия на отдельные группы генераторов неэффективны [3].

Выводы. Учитывая сложность управления электрическим режимом МЭС, неэффективность локального управления отдельными группами генераторов и прочими СКРМ, необходима централизованная координация режимов работы всех располагаемых и вновь вводимых технических средств управления.

Поскольку МЭС является частью ОЭС Центра система управления, её электрическим режимом должна быть элементом централизованной системы управления электрическим режимом этого объединения.

Основными управляемыми источниками реактивной мощности являются генераторы электростанций. К управлению электрическим режимом МЭС следует привлекать максимально возможное количество генераторов.

Суммарная мощность и места подключения дополнительных ШР должна выбираться из условия поддержания оптимальных диапазонов регулирования реактивной мощности у управляемых генераторов.

ШР, БСК и устройства РПН АТ должны использоваться для «настройки» электрической сети МЭС, обеспечивающей в плановых режимах наиболее полное использование регулировочных диапазонов управляемых генераторов.

Управляющие воздействия на средства управления должны формироваться на основании результатов расчетов оптимальных УР энергосистемы. Должна быть обеспечена одновременность передачи управляющих воздействий на все средства управления.

Для однозначного распределения реактивной мощности между электростанциями, генераторы которых не вошли в число управляемых, эти энергообъекты должны быть оснащены локальными средствами управления, например косинусными регуляторами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Макаровский, С.Н. Проблемы управления напряжением и реактивной мощностью в основных сетях ЭЭС России / С.Н. Макаровский, З.Г. Хвощинская // Энергетик. -2002. -№6.
- 2 Росман, Л.В. Регулирование напряжения в сетевых концентрирующих генерирующих узлах: обз. информ. / Л.В. Росман. -М.: Информэнерго, 1987. -(Серия «Средства и системы управления в энергетике»; вып. 2).
- 3 Управление напряжением и реактивной мощностью в электроэнергетических системах. Европейский опыт / П.А. Горожанкин, А.В. Майоров, С.Н. Макаровский, А.А. Рубцов // Электрич. станции. -2008. -№6.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: Московская энергосистема, напряжение, реактивная мощность, вторичное регулирование напряжения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Тузукова Екатерина Валерьевна, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Макаровский Сергей Николаевич, канд. техн. наук, старший научный сотрудник ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105318, г.Москва, ул.Ткацкая, 1, ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ПЕРЕХОДЕ К ПОСЛЕАВАРИЙНОМУ РЕЖИМУ С НОРМИРОВАННЫМ ЗАПАСОМ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Н.Н. Лизалек, А.С. Вторушин, С.Г. Аржаников, Д.Н. Бородин

ASSESSMENT AND PROVISION OF DYNAMIC STABILITY IN A MANAGED TRANSITION TO A POST-EMERGENCY MODE WITH THE NORMALIZED MARGIN OF STATIC STABILITY

Institute of power system automation

N.N. Lizalek, A.S. Vtorushin, S.G. Arzhannikov, D.N. Borodin

This article discusses the approach to the assessment of dynamic stability of the power system on the basis of weak sections information. The selection of the assumed out of step sections makes it possible to test transitory mode for dynamic stability when the disturbance occurred. The Algorithms of such a verification may be based on square method applied to the relative motion of subsystems formed by sections (section) of asynchronous progress. Also the control actions at set intervals of time after actuation of the API starting bodies in post-fault conditions may be accounted and adjusted to ensure a sustainable transition.

Keywords: structurally organized movement, dynamic stability, asynchronous progress sections forecasting

Рассматривается подход оценки динамической устойчивости энергосистемы на основании информации о её слабых сечениях. Выделение предполагаемых сечений асинхронного хода позволяет провести проверку возникающего при аварии переходного процесса на динамическую устойчивость. Алгоритмы такой проверки могут быть основаны на методе площадей, примененном к относительным движениям подсистем, образованных сечением (сечениями) асинхронного хода. При этом может быть учтено выполнение управляющих воздействий через заданные интервалы времени после срабатывания пусковых органов АПНУ в послеаварийных режимах и их корректировка с целью обеспечения устойчивого перехода.

При выборе противоаварийного управления, обеспечивающего существование послеаварийного режима с нормируемым запасом статической устойчивости, требуется, в общем случае, проведение проверки динамической устойчивости перехода к этому послеаварийному состоянию. Так как обеспечение статической устойчивости послеаварийного режима с помощью противоаварийного управления увязано со слабыми сечениями системы, то и процедура оценки динамической устойчивости перехода к послеаварийному режиму также может строиться применительно к этим слабым сечениям. Это означает, что определенные при анализе статической устойчивости слабые сечения системы формируют разбиение системы на подсистемы, устойчивость взаимного движения которых собственно и рассматривается при исследованиях динамической устойчивости.

Таким образом, можно выделить две независимые части алгоритма оценки устойчивости перехода к послеаварийному режиму – поиск слабых сечений и оценка динамической устойчивости управляемого перехода к устойчивому послеаварийному режиму.

Поиск слабых сечений осуществляется алгоритмом, базирующимся на анализе собственного вектора матрицы Якоби для предельного режима [1]. Алгоритм позволяет найти множество слабых сечений энергосистемы. При этом возможно выделение сечений, разбивающих энергосистему на две подсистемы, в одной из которых отсутствует генерация. Такие сечения не должны проходить оценку динамической устойчивости.

Оценка динамической устойчивости управляемого перехода к устойчивому послеаварийному режиму проводится с учетом результатов выделения слабых сечений и разделяемых ими подсистем. Разбиение на подсистемы, по сути, есть физически обоснованный и удобный способ эквивалентного представления исследуемой системы. При этом вовсе не обязательно переходить к эквивалентным математическим моделям подсистем, вполне достаточно использовать только некоторое упрощенное описание их движения (совершаемого в рамках исходной математической модели). В качестве метода оценки динамической устойчивости в этих условиях целесообразно использовать метод площадей для структурно организованного колебательного движения [2, 3].

Будем рассматривать структурно организованное движение, в котором участвуют подсистемы, выделяемые при разбиении системы слабыми сечениями, определенными при анализе статической устойчивости. Это означает, что используется предположение о возможном нарушении динамической устойчивости по какому либо из этих сечений (иные конфигурации неустойчивого движения отбрасываются как менее вероятные или как не относящиеся к компетенции рассматриваемой системы противоаварийного управления).

В классической постановке метод площадей используется для оценки предельных по динамической устойчивости возмущений. В рамках рассматриваемой задачи метод площадей должен, в первую очередь, обеспечить идентификацию динамической неустойчивости движения системы при данном возмущении. Это означает, что при движении системы по её траектории необходимо определить момент времени (или мгновенное, критическое, состояние системы), после которого свободный (то есть в свободном движении) возврат системы в существующее (и уже пройденное) положение устойчивого равновесия физически невозможен. Если удается выявить описанную ситуацию, то фиксируется неизбежное последующее нарушение динамической устойчивости свободного движения. И, напротив, если такая невозможность возврата в положение устойчивого равновесия не выявлена, то фиксируется факт устойчивого свободного движения на данном участке траектории. Алгоритмы идентификации неустойчивости используют информацию о траектории, уже пройденной системой, и, следовательно, они могут быть встроены, например, в процедуру численного интегрирования уравнений движения.

При применении метода площадей для структурно организованного движения необходимо рассчитывать работу по перемещению подсистем на траектории движения. Для анали-

за устойчивости эти работы должны подсчитываться при относительных перемещениях в системе. В качестве общего движения, относительно которого и определяются все перемещения, естественно выбрать движение центра инерции системы. Уравнение движения i -ой синхронной машины относительно центра инерции системы имеет вид

$$J_i \frac{d\Delta\Omega_{i0}(t)}{dt} = \Delta M_i - \frac{J_i}{J_s} \Delta M_s = \Delta M_{i0}, \quad (1)$$

где $\Delta\Omega_{i0}(t)$ – отклонение скорости перемещения ротора машины относительно скорости центра инерции системы;

J_i – момент инерции синхронной машины;

J_s – суммарный момент инерции системы

$$J_s = \sum_i J_i;$$

ΔM_s – суммарный избыточный момент на валах машин в системе

$$\Delta M_s = \sum_i \Delta M_i;$$

ΔM_i – избыточный момент на валу i -ой синхронной машины.

Величина ΔM_{i0} -избыточный момент, действующий на i -ую машину в её относительном движении около центра инерции системы (или, просто, относительный избыточный момент синхронной машины). Кроме того, в любой момент времени будет выполняться соотношение для суммарного импульса относительных движений

$$\sum_i J_i \Delta\Omega_{i0}(t) = 0. \quad (2)$$

Суммирование относительных избыточных моментов синхронных машин, входящих в одну, например s -ую подсистему определяет избыточный момент ΔM_{s0} , действующий на s -ую подсистему как целое, приложенный к ее центру инерции в его относительном движении около центра инерции системы (или, просто, относительный избыточный момент подсистемы)

$$\Delta M_{s0} = \sum_{i_s} \Delta M_i - \frac{\sum_{i_s} \Delta J_i}{J_s} \Delta M_s = \Delta M_s - \frac{J_s}{J_s} \Delta M_s, \quad (3)$$

где i_s – множество синхронных машин, входящих в s -ую подсистему;

J_s – суммарный момент инерции подсистемы

$$J_s = \sum_i J_i;$$

ΔM_s – суммарный избыточный момент подсистемы

$$\Delta M_s = \sum_i \Delta M_i.$$

Уравнение относительного движения s -ой подсистемы как целого имеет вид [2]

$$J_s \frac{d\Delta\Omega_{s0}(t)}{dt} = \Delta M_s - \frac{J_s}{J_s} \Delta M_s = \Delta M_{s0}, \quad (4)$$

где $\Delta\Omega_{s0}$ – отклонение скорости перемещения центра инерции подсистемы относительно центра инерции системы.

Кинетическая энергия системы $K(t)$ в момент времени t равна кинетической энергии в стационарном режиме K_0 плюс добавка кинетической энергии $\Delta K(t)$, произошедшая на интервале переходного процесса $(0-t)$, то есть $K(t) = K_0 + \Delta K(t)$. Добавка кинетической энергии системы $\Delta K(t)$ складывается из вкладов отдельных синхронных машин $K_i(t)$

$$\Delta K(t) = \sum_i \Delta K_i(t).$$

При суммировании получим [2]

$$K(t) = K_0 + \Delta K(t) = K_0 + \Omega_0 J_s \Delta\Omega_0(t) + J_s \frac{\Delta\Omega_0^2(t)}{2} + \sum_s J_s \frac{\Delta\Omega_{s0}^2(t)}{2} + \sum_s \sum_{i_s} J_i \frac{\Delta\Omega_{iis}^2(t)}{2}, \quad (5)$$

где $\Delta\Omega_0(t)$ – отклонение скорости перемещения центра инерции системы в момент t от ис-

ходной частоты стационарного режима Ω_0 (высший уровень иерархии движения);

$\Delta\Omega_{s0}(t)$ – синхронное движение подсистемы - региональный процесс, определяемый отклонением скорости перемещения центра инерции подсистемы относительно скорости перемещения центра инерции системы (средний уровень иерархии движения);

$\Delta\Omega_{eis}(t)$ – индивидуальное движение - локальный процесс движения синхронной машины в s -ой подсистеме относительно ее центра инерции (низший уровень иерархии движения).

Сумма первых трех слагаемых

$$K_0 + \Omega_0 J_s \Delta\Omega_0(t) + J_s \frac{\Delta\Omega^2(t)}{2}, \quad (6)$$

представляет собой кинетическую энергию поступательного движения системы, остальная часть уравнения

$$\sum_s J_s \frac{\Delta\Omega_{s0}^2(t)}{2} + \sum_s \sum_{i_s} J_i \frac{\Delta\Omega_{eis}^2(t)}{2}, \quad (7)$$

это кинетическая энергия колебаний, состоящая из кинетической энергии синхронных (региональных) колебаний подсистем и кинетической энергии локальных колебаний в подсистемах. Из (4) следует, что изменение кинетической энергии колебаний подсистемы как целого равно работе относительного момента подсистемы на её перемещении относительно центра инерции системы

$$\int_{t_0}^t d \left(J_s \frac{\Delta\Omega_{s0}^2}{2} \right) = \int_{\Delta\delta_{s0}(t_0)}^{\Delta\delta_{s0}(t)} \Delta M_{s0} d(\Delta\delta_{s0}); \quad (8)$$

$$d(\Delta\delta_{s0}) = \Delta\Omega_{s0}(t) dt.$$

В общем случае число подсистем колебательной структуры может превышать двойку. Особенностью колебательных структур движения, является их малая размерность и топологическая простота. Число подсистем колебательной структуры обычно лежит в диапазоне 2-5 и они формируют цепочечную или цепочечную с ответвлениями структуру. Теоретически возможно образование кольцевой структуры с четным числом подсистем в кольце. Благодаря малой размерности и топологической простоте колебательных структур разбить систему любой сложности на две связные части не представляет труда. Таких разбиений, в общем случае, несколько. Варианты таких разбиений в [2, 3] названы возможными структурами неустойчивости, так как они определяют возможные сечения для развития простейшего (двухчастотного) асинхронного хода в системе. В общем случае, возможная структура неустойчивости образована двумя подсистемами, каждая из которых может содержать несколько связных подсистем колебательной структуры. Как видно, условия для анализа устойчивости движения в каждой возможной структуре неустойчивости приближаются к условиям исследований устойчивости двухмашинной схемы.

Возможные структуры неустойчивости – это варианты слияния подсистем колебательной структуры в две группы: $\langle 1 \rangle$ и $\langle 2 \rangle$ (на множествах подсистем s_1 и s_2), взаимодействующие между собой по тому или иному сечению, делящему систему на две части. В качестве сечений выступают межсистемные связи между подсистемами колебательной структуры для некольцевых структур и пары связей внутри кольцевых образований. Подсистемы каждой группы образуют связную подструктуру колебательной структуры.

Для примера, рассмотрим подсистему $\langle 1 \rangle$. В ней движения всех машин уже не будут синхронными, а имеются s_1 групп машин, движущихся относительно центра инерции слитой подсистемы с разными скоростями. Подсистема $\langle 1 \rangle$ состоит из s_1 звеньев, в целом она совершает общее движение и, кроме того, существуют внутренние движения звеньев относительно этого общего движения со скоростями

$$\Delta\Omega_{s\langle 1 \rangle}(t) = \Delta\Omega_{s0}(t) - \Delta\Omega_{\langle 1 \rangle 0}(t). \quad (9)$$

Уравнение движения центра инерции подсистемы $\langle 1 \rangle$ будет

$$J_{s(1)} \frac{d\Delta\Omega_{(1)0}(t)}{dt} = \Delta M_{(1)} - \frac{J_{(1)}}{J_s} \Delta M_s = \Delta M_{(1)0}. \quad (10)$$

Уравнение внутреннего относительного движения s -ой подсистемы, входящей в группу, имеет вид

$$J_s \frac{d\Delta\Omega_{s(1)}(t)}{dt} = \Delta M_s - \frac{J_s}{J_{(1)}} \Delta M_{(1)} = \Delta M_{s(1)}, \quad (11)$$

где $\Delta M_{s(1)}$ – относительный момент, действующий на подсистему при ее движении около центра инерции слитой подсистемы $\langle 1 \rangle$, в которую она входит.

Тогда, для дифференциала кинетической энергии региональных синхронных движений всего множества $s = s_1 + s_2$ подсистем колебательной структуры $d\Delta K_{pez}$, справедливы выражения [3]

$$\begin{aligned} d\Delta K_{pez} &= \sum_s d\Delta K_s = \sum_s \Delta M_{s0} d(\Delta\delta_{s0}) = \\ &= \Delta M_{(1)0} d(\Delta\delta_{(1)0}) + \sum_{s_1} \Delta M_{s(1)} d(\Delta\delta_{s(1)}) + \Delta M_{(2)0} d(\Delta\delta_{(2)0}) + \sum_{s_2} \Delta M_{s(2)} d(\Delta\delta_{s(2)}), \end{aligned} \quad (12)$$

где $\Delta M_{(1)0}, \Delta M_{(2)0}$ – относительные моменты групповых движений

$$\Delta M_{(1)0} = \sum_{s_1} \Delta M_{s0}; \quad \Delta M_{(2)0} = \sum_{s_2} \Delta M_{s0};$$

$d(\Delta\delta_{(1)0}), d(\Delta\delta_{(2)0})$ – дифференциалы групповых смещений.

Легко установить, что для обще групповых движений выполняются простые соотношения:

$$\Delta M_{(1)0} + \Delta M_{(2)0} = 0; \quad J_{(1)} d(\Delta\delta_{(1)0}) + J_{(2)} d(\Delta\delta_{(2)0}) = 0. \quad (13)$$

Полный дифференциал $d\Delta K_{pez}$ можно представить в виде суммы двух частных дифференциалов, связанных с обще групповыми $d\Delta K_{общ}$ и внутри групповыми (локальными) $d\Delta K_{лок}$ движениями, то есть

$$d\Delta K_{pez} = d\Delta K_{общ} + d\Delta K_{лок},$$

где $d\Delta K_{общ} = \Delta M_{(1)0} d(\Delta\delta_{(1)0}) + \Delta M_{(2)0} d(\Delta\delta_{(2)0}) = \Delta M_{(1)0} d(\Delta\delta_{(1)0} - \Delta\delta_{(2)0}) = \Delta M_{(1)0} d(\Delta\delta_{(12)})$;

$$d\Delta K_{лок} = d\Delta K_{pez} - d\Delta K_{общ} = \sum_{s_1} \Delta M_{s(1)} d(\Delta\delta_{s(1)}) + \sum_{s_2} \Delta M_{s(2)} d(\Delta\delta_{s(2)}). \quad (14)$$

В (14) учтено первое соотношение из (13) и введен дифференциал взаимного смещения центров инерции групп $d(\Delta\delta_{(12)}) = d(\Delta\delta_{(1)0} - \Delta\delta_{(2)0})$. В частном случае, когда подсистемы структуры неустойчивости содержат по одной подсистеме колебательной структуры, внутренние движения в группах отсутствуют и $d\Delta K_{лок} = 0$.

Соотношения (13) и (14), представляющие собой теорему об изменении кинетической энергии в дифференциальной форме, можно использовать в алгоритмах оценки устойчивости энергосистем методом площадей. Из этих соотношений следует, что изменения кинетической энергии подсистем колебательной структуры и работы, производимые при их перемещениях, могут быть разложены на составляющие, описывающие общие и внутренние движения двух подсистем структуры неустойчивости. При изменении рассматриваемой структуры неустойчивости разделение энергии и работ на составляющие будет изменяться, а их сумма останется неизменной. В случае, когда число подсистем колебательной структуры превышает двойку, необходимо анализировать несколько вариантов формирования групп подсистем, которые рассматриваются как возможные структуры неустойчивости системы.

Общая кинетическая энергия подсистем $\langle 1 \rangle$ и $\langle 2 \rangle$ группы и процесс её изменения во время движения определяют устойчивость динамического перехода к послеаварийному режиму. Процедура идентификации неустойчивости сводится к сопоставлению работ (площадей) ускорения и торможения подсистем структур неустойчивости.

Возможно применение двух способов определения траектории движения подсистем структур неустойчивости. Первый способ – траектория движения подсистем структур неус-

тойчивости определяется движением подсистем колебательной структуры по возможным траекториям. Этот способ, описанный в [3], не связан с интегрированием уравнений движения и использует простейшие математические модели элементов системы. Второй способ – движение подсистем структур неустойчивости выступает результатом интегрирования уравнений движения всех синхронных машин системы, учитываемых в её математической модели. При этом, естественно, математические модели элементов системы могут быть как угодно полными.

В обоих способах метод идентификации неустойчивости по сути один и тот же. Проводится расчет положительной работы ускорения подсистем структуры $A_{уск}$ от аварийного возмущения до момента (времени) изменения знака относительных моментов (если изменения знака относительных моментов не происходит, то это говорит об отсутствии послеаварийного режима). Полученное значение фиксируется как прирост кинетической энергии, полученной подсистемами при возмущающем воздействии. Момент времени изменения знака относительных моментов определяет начало первого цикла качаний.

Затем проводится расчет отрицательной работы торможения подсистем структуры неустойчивости $A_{топ}$ по восходящей ветви первого цикла качаний до момента изменения знака их относительной скорости (для траектории, полученной интегрированием уравнений движения, при использовании возможной траектории до момента первого выполнения неравенства $|A_{топ}| \geq |A_{уск}|$). Полученное значение работы торможения фиксируется (определяя запас потенциальной энергии региональных колебаний подсистем структуры неустойчивости в первом цикле качаний).

Если изменения знака относительной скорости не происходит (или не выполняется неравенство $|A_{топ}| \geq |A_{уск}|$), а работа торможения по модулю начинает снижаться за счет изменения знака относительных моментов, то фиксируется нарушение динамической устойчивости в первом цикле качаний. В противном случае динамическая устойчивость в первом цикле качаний сохраняется.

При сохранении динамической устойчивости в первом цикле проводится расчет работы ускорения на нисходящей ветви траектории первого цикла, проводимой также до изменения знака относительных моментов. После фиксации приобретенной кинетической энергии при спуске по нисходящей ветви первого цикла качаний проводится расчет работы торможения подсистем структуры неустойчивости при подъеме по восходящей ветви второго цикла качаний. Расчет проводится также до момента времени изменения знака относительных скоростей подсистем для интегрируемой траектории или до момента выполнения соответствующего энергетического неравенства для возможной траектории. Отсутствие такого момента интерпретируется как нарушение динамической устойчивости во втором цикле качаний.

Величины работ ускорения, компенсируемых соответствующим торможением в системе в первом и втором циклах качаний, определяют основные исходные условия для выбора противоаварийного управления, обеспечивающего устойчивый динамический переход к послеаварийному режиму.

Заключение. Необходимо развитие алгоритмов АПНУ в части определения сечения возможного асинхронного хода и прогнозирования его развития для рассматриваемых аварийных ситуаций.

В алгоритмах прогнозирования развития асинхронного хода может быть использован метод площадей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Алгоритмическое обеспечение ПТК верхнего уровня ЦСПА ОЭС Сибири и перспективы его развития / С.Г. Аржанников, А.С. Вторушин, О.В. Захаркин, А.К. Ландман, А.Э. Петров, Е.Ю. Попова // Изв. НТЦ единой энергет. системы. -2013. -№1(68). -С. 91-98.

2 Структура электромеханических колебаний и устойчивость энергосистем / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, М.В. Данилов, К.С. Мочалин // Электричество. -2011. -№6. -С. 11-19.

3 Оценка динамической устойчивости энергосистем на основе метода площадей / Н.Н. Лизалек, А.Н. Ладнова, В.Ф. Тонышев, Е.Ю. Попова, А.С. Вторушин // Изв. Рос. акад. наук. Сер. Энергетика. -2013. -№1. -С. 139-152.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: структурно-организованное движение, прогнозирование сечений асинхронного хода, динамическая устойчивость

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, главный научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»
Вторушин Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ЗАО «ИАЭС»
Аржанников Сергей Гаврилович, старший научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»
Бородин Дмитрий Николаевич, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОУЗЛА КАЛИНИНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Г.Л. Брухис, Л.Г. Бутина, В.А. Воронин, В.Е. Жмурко, Н.В. Хозяинов

SPECIAL ASPECTS OF RECONSTRUCTION OF EMERGENCY CONTROL SYSTEM AT KALININSKAYA NPP

Institute ENERGOSETPROJECT

G.L. Brukhis, L.G. Butina, V.A. Voronin, V.E. Zhmurko, N.V. Khozyainov

Special aspects of design process of the modern microprocessor-based emergency control systems are described in the paper with an example of the Kalininskaya nuclear power plant (NPP). It is shown in the paper how the special aspects of the power plant and its regional electrical schemes determine the structure and the configuration of the Kalininskaya NPP emergency control complex.

Keywords: power system, emergency control

Рассмотрены особенности проектирования современных систем противоаварийного управления на примере реконструкции противоаварийной автоматики Калининской АЭС. Показано влияние особенностей Калининской АЭС и специфики энергорайона на конфигурацию создаваемого комплекса противоаварийной автоматики.

Увеличение мощности Калининской АЭС сначала до 3000 МВт, а затем до 4000 МВт, и развитие сети для выдачи мощности станции путем сооружения ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Белозерская и ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Грибово, потребовало расширения и реконструкции комплекса противоаварийной автоматики (ПА) прилегающего района.

В 2007 г. с вводом блока №3 расширен действовавший комплекс ПА на базе релейно-аналоговой техники, а при сооружении блока №4 и ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Грибово выполнен проект модернизации комплекса с переводом его на современную микропроцессорную базу. При этом релейный комплекс должен выполнять задачи ПА на пусковом этапе, а затем работать в качестве резервного.

На рисунке 1 представлен фрагмент сети 110-750 кВ рассматриваемого региона.

Особенностями рассматриваемого района противоаварийного управления являются:

- шунтирование основной сети 750 кВ сетью 110-220-330 кВ;
- наличие слабых связей 220 кВ в районе между ПС 750 кВ Грибово и северо-западной частью Московского Кольца 50 кВ;
- наличие транзитных потоков мощности от ОЭС Северо-Запада и южной части ОЭС Центра в направлении ОЭС Средней Волги через Московскую энергосистему.

Анализ расчетов *послеаварийных режимов и устойчивости*. Подготовка комплекса ПА к работе в соответствии с действующей нормативной документацией [1, 2] потребовала выполнения значительного объема расчетов и анализа режимов и устойчивости.

Исследования статической устойчивости проводились на основании оценки коэффициентов запаса по активной мощности в рассматриваемых сечениях, расположенных вблизи Калининско-Конаковского генерирующего узла, для исходных базовых режимов зимних максимальных и летних минимальных нагрузок.

В качестве контролируемых сечений рассматривались частичные сечения:

- «Северо-Запад - Центр»;
- «Калинин-Конаково»;
- «Сечение 1» (южнее Конаковской ГРЭС, включая ВЛ 500 кВ Белозерская-Вологодская).

Расчеты статической устойчивости выполнены по программе «RASTRWIN» при общепринятых расчетных допущениях. Причиной достижения предельного значения мощности в сечении является недопустимое снижение напряжения

$$U_{\text{реж}} \leq U_{\text{кр}} = 0,7U_{\text{ном}},$$

на шинах узловых подстанций сети 110 кВ Тверской энергосистемы, которая шунтирует ВЛ 330-750 кВ, образующие сечение «Калинин-Конаково».

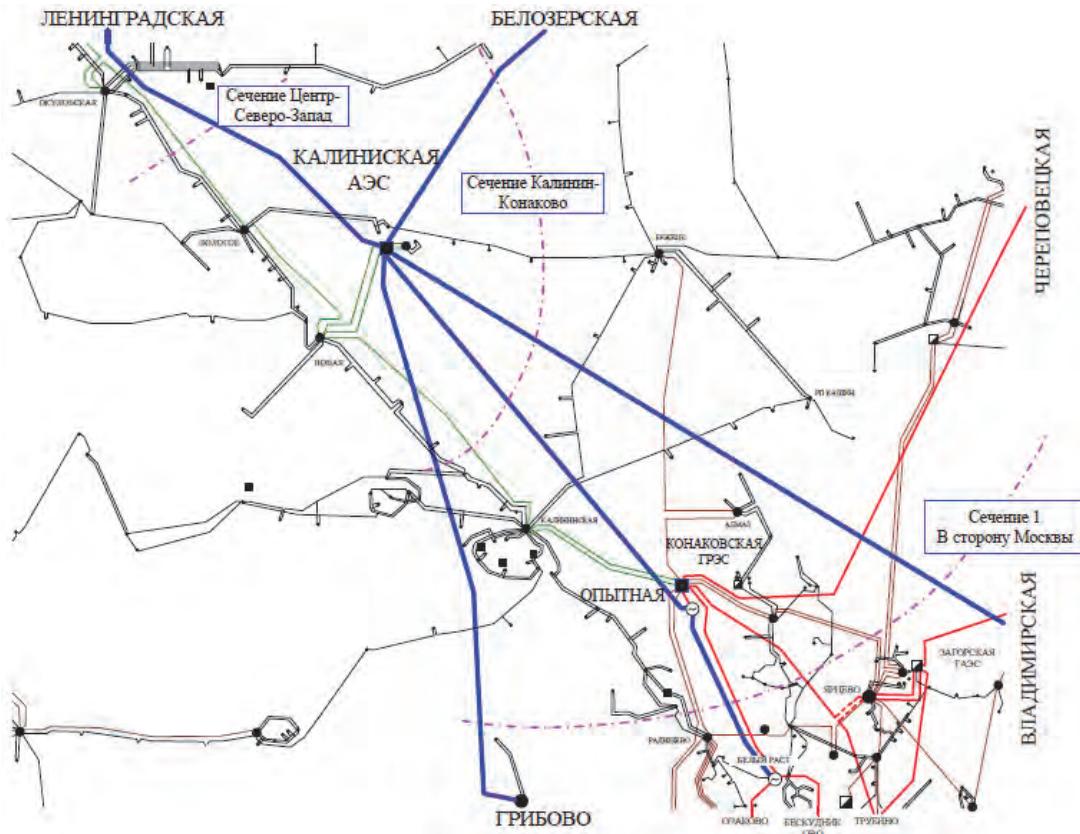


Рисунок 1 – Фрагмент сети 110-750 кВ района противоаварийного управления

Аварийными возмущениями, приводящими к необходимости противоаварийного управления, являются отключения линий электропередач и автотрансформаторов, перегрузка по мощности связей 330 кВ.

В качестве управляющих воздействий (УВ) ПА применяются:

- разгрузка блоков Калининской АЭС (длительная – ДРТ и кратковременная – КРТ);
- отключение генераторов станции;
- отключение нагрузки на отдельных объектах сети;
- секционирование шунтирующей сети 330 кВ;
- в отдельных случаях – отключение шунтирующих реакторов (ШР).

Основные результаты расчетов режимов и статической устойчивости для наиболее тяжелых нормальных, послеаварийных и ремонтных режимов сведены в таблицу.

Таблица – Результаты расчетов режимов и статической устойчивости

Показатель	Зима С3-Ц		Лето С3-Ц		Зима Ц-С3	
	НС	РС	НС	РС	НС	РС
Условия обеспечения 20% запаса устойчивости в сечении «Калинин-Конаково» в доаварийном режиме, МВт:						
– переток в сечении Калинин-Конаково	5578	4680	5680	4750	2170	2170
– мощность Калининской АЭС (ШР включен)	4000	3290	4130	3260	4130	4130
– мощность Калининской АЭС (ШР отключен)	4130	4130	3260	4130	4130	4130
– переток в сечении С3-Ц (ШР включен)	1900	1830	1900	1840	1600	1600
– переток в сечении С3-Ц (ШР отключен)	1900	1037	1900	1140	1600	1600
Минимальный запас в послеаварийном режиме, %	10	3	7	0	>20	>20
Управляющие воздействия			350*	**	620*	
Элемент, определяющий максимальный объем управляющих воздействий	–		ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Опытная		–	–

*-мощность длительной разгрузки блоков Калининской АЭС, МВт; **-отключение шунтирующих реакторов; НС-нормальная схема; РС-ремонтная схема

Следует отметить, что, обеспечивая нормативный запас устойчивости в сечении «Калинин-Конаково» и разгружая его, одновременно разгружается и «сечение 1». Поэтому выбор объемов управляющих воздействий должен осуществляться таким образом, чтобы скоординированное снижение мощности, выдаваемой генераторами Калининской АЭС и Конаковской ГРЭС, позволило бы обеспечить нормативный запас устойчивости в каждом из рассматриваемых сечений.

Суммарный переток в «сечении 1» в полном объеме не контролируется ни одним из существующих комплексов ПА ОЭС Центра. Поэтому рекомендуется расширение и реконструкция существующего комплекса ПА Конаковской ГРЭС, а также создание нового комплекса с функциями координации противоаварийного управления северной зоны ОЭС Центра.

В работе выявлена возможность возникновения токовых перегрузок.

Токовые перегрузки сети 110 кВ определяются транзитными потоками мощности через ее элементы, возникающими после аварийных отключений линий 750 кВ и 330 кВ, отходящих от Калининской АЭС.

Применение разгрузки Калининской АЭС для ликвидации токовых перегрузок сети 110 кВ имеет низкую эффективность. Проверена и подтверждена более высокая эффективность деления сети (размыкание транзитов 110 кВ, токовая загрузка которых в послеаварийных режимах превышает длительно допустимую).

Разгрузка блока № 1 Калининской АЭС эффективна с целью ликвидации токовых перегрузок ВЛ 330 кВ и АТ 750/330 кВ Калининской АЭС.

Максимальная разгрузка блоков Калининской АЭС (до 2480 МВт и до 2685 МВт) потребуется соответственно в схемах ремонта одного из АТ 750/500 кВ ПС 750 кВ Белозёрская или ПС 750 кВ Владимирская в случае аварийного отключения ВЛ 750 кВ Калининская АЭС – Опытная для устранения токовых перегрузок оставшегося в работе АТ.

В ряде режимов после аварийного одностороннего отключения транзитов 110 кВ Удомля-Бежецк, Калининская-Бежецк или Калининская-РП Кашин в схеме ремонта ВЛ 220 кВ Алмаз-Бежецк наблюдается недопустимое снижение напряжения. Для предотвращения возможности развития лавины напряжения необходимо применение быстродействующего противоаварийного отключения нагрузки потребителей. Следует отметить, что данная задача решается в составе работ по реконструкции и развитию сетей 110 кВ Тверской энергосистемы в целом для региона. В рамках данных работ с целью предотвращения аварийных снижений напряжения могут быть рассмотрены вопросы необходимости установки компенсирующих устройств с выбором их параметров, типов и пунктов размещения.

Кардинальным решением проблемы обеспечения надежного энергоснабжения является строительство линий 330 кВ, в том числе и сооружение ВЛ 330 кВ Калининская АЭС-Бежецк.

Расчеты динамической устойчивости станции проведены для отключаемых ВЛ 750 кВ и 330 кВ, вызванных нормативными короткими замыканиями различной тяжести вблизи шин Калининской АЭС.

Расчеты проводились для исходных режимов зимних максимальных нагрузок и летних минимальных нагрузок, в которых межсистемный переток мощности из Северо-Запада в Центр составляет около 1900 МВт.

В работе были выявлены следующие аварийные возмущения приводящие к нарушению динамической устойчивости:

– в нормальной схеме сети двухфазные КЗ на землю на ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Опытная и ВЛ 330 кВ Калининская АЭС-Новая I (II) с отказом выключателя и действием УРОВ. Наиболее тяжелые переходные процессы выявлены при повреждении ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Опытная в схемах ремонта ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Владимирская или ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Белозёрская, а также при повреждении ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Владимирская в схеме ремонта ВЛ 750 кВ Калининская АЭС-Опытная;

– двухфазные КЗ на землю в «мёртвых зонах» без отказов выключателей с отключением ВЛ 750 кВ, отходящих от Калининская АЭС, в нормальной схеме сети.

Для выявленных случаев нарушения динамической устойчивости выполнена оценка эффективности применения противоаварийного управления - импульсной кратковременной разгрузки турбин Калининской АЭС (КРТ) с учетом возможности длительного ограничения мощности турбины в послеаварийном режиме (ДРТ) и отключения генераторов. Определены объемы предварительной разгрузки станции, которые позволяют сохранить динамическую устойчивость без применения противоаварийного управления.

Система противоаварийного управления. На основании проведенного анализа расче-

тов устойчивости можно говорить о сохранении существующих принципов противоаварийного управления Калининской АЭС с дополнительной организацией пусковых и исполнительных устройств, связанных с вводом блока №4, развитием сети и сооружением дополнительных каналов связи. Общая структура района противоаварийного управления, включая отдельные объекты и связывающие их каналы аварийных сигналов и команд, приведена на рисунке 2.

Центр противоаварийного управления сечением «Калинин - Конаково» находится на Калининской АЭС, здесь же размещаются пусковые органы и исполнительные органы разгрузки АЭС.

Микропроцессорный комплекс ПА Калининской АЭС по своему составу аналогичен релейному комплексу, подвергнувшемуся необходимой реконструкции, и включает в себя ряд следующих систем и устройств:

– систему автоматического предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), в том числе комплекс автоматической дозировки управляющих воздействий (АДВ), пусковые органы фиксации отключения линий (ФОЛ), автотрансформаторов (ФОТ), тяжести короткого замыкания (ФТКЗ), исполнительные устройства автоматической разгрузки станции (АРС). Функции АДВ и АРС выполнены в едином микропроцессорном комплексе. В АДВ используется табличный алгоритм, заполнение которого выполняется заранее на основе результатов расчетов устойчивости. Пусковые устройства формируют команды на пуск АДВ в виде дискретных сигналов.

АДВ формирует следующие команды противоаварийного управления: КРТ (команды кратковременной импульсной разгрузки станции); ДРТ (команды длительной разгрузки станции); ОГ(команды на отключение генераторов); управляющие воздействия, передаваемые на другие объекты посредством устройств передачи аварийных сигналов и команд (УПАСК).

Объем управляющих воздействий на станции выбирается тремя ступенями по 150 МВт на каждом из блоков. Максимальный объем ДРТ может достигать 1800 МВт. Следует отметить, что на станции используется полуторная схема электрических соединений, при этом в одном «поле» с ВЛ может быть включен и блок. Поэтому при выборе объема ДРТ учитывается возможность одновременной потери блока при аварийном отключении ВЛ, например, при ремонте смежного выключателя или при действии УРОВ.

Функция АРС позволяет реализовать (с учетом доаварийного состояния блоков) следующий набор ступеней разгрузки – 150, 300, 450...1800 МВт. Для каждого из блоков в АРС могут быть подготовлены ступени ДРТ и КРТ с аналогичным набором ступеней;

- систему автоматической ликвидации асинхронного режима (АЛАР);
- автоматическое ограничение повышения напряжения (АОПН);
- автоматическое ограничение перегрузки оборудования (АОПО).

– устройства передачи аварийных сигналов и команд, обеспечивающих получение аварийных сигналов от смежных объектов энергосистемы и передачу аварийных команд по высокочастотным каналам или по волоконнооптическим линиям связи, а также аппаратура телемеханики для передачи доаварийной информации на участке ВЛ 330 кВ Новая-Калининская АЭС;

– информационную технологическую сеть микропроцессорных устройств ПА. Выполнена на базе волоконнооптического кольца с элементами, включая автоматизированные рабочие места (АРМ), обеспечивающими связь с системой оперативно-технологической информации (СОТИ).

Ряд устройств, составляющих вышеуказанные системы (АПНУ, АЛАР, АОПН, АОПО), размещены на отдельных объектах сети 330-750 кВ (рисунок 2).

Заключение. Особенности исполнения Калининской АЭС, возможные схемно-режимные состояния рассматриваемого района определили основные особенности системы ПА:

– Анализ режимов статической и динамической устойчивости потребовал выполнения значительного объема расчетов режимов и устойчивости определяющих принципы противоаварийного управления рассматриваемого района.

– Основная сеть 330-750 кВ со слабыми шунтирующими связями 110-220 кВ требует создания организованного секционирования этих связей с обеспечением, в необходимых случаях, источников реактивной мощности или реализации кардинальных мер по строительству ВЛ 330 кВ.

– Создание в перспективе вокруг Москвы кольца 750 кВ Калининская АЭС-Смоленск-Калуга-Владимир позволило бы разгрузить сети 220 и 500 кВ Московской энергосистемы от

транзитных потоков мощности.

– С сооружением блока №4 Калининской АЭС комплекс ПА прилегающей сети модернизирован на базе современной микропроцессорной техники. Действующий релейный комплекс ПА реконструирован и используется в качестве пускового, а затем – резервного.

– Целесообразна опытная эксплуатация микропроцессорного комплекса ПА Калининской АЭС.

– Взаимодействие комплекса ПА в сечении «Калинин-Конаково» с комплексом ПА в «сечении 1» с целью минимизации УВ требует рассмотрения возможности создания в ОЭС Центра централизованной системы противоаварийной автоматики.

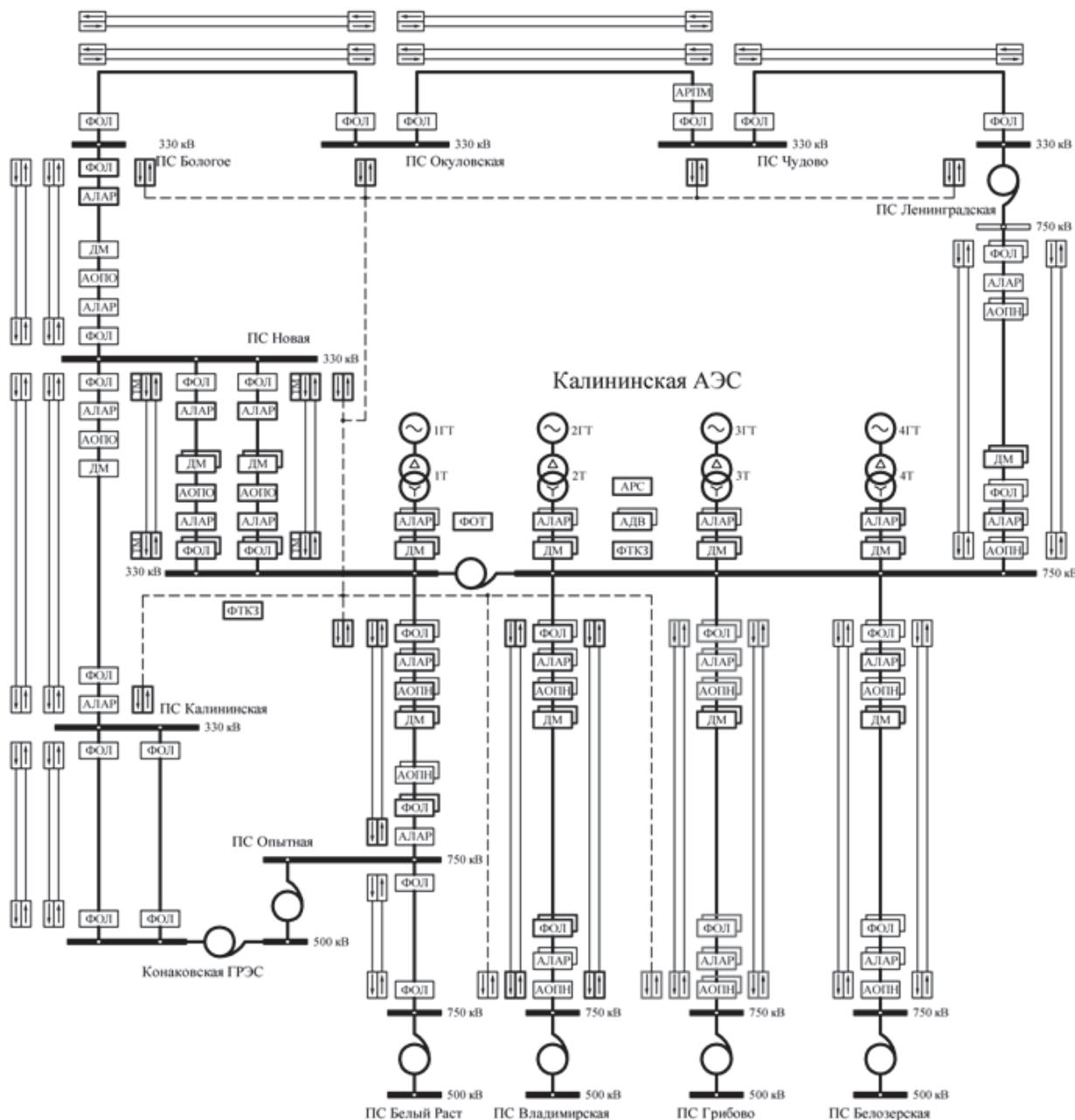


Рисунок 2 – Структурная схема противоаварийного управления

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по устойчивости энергосистем: утв. приказом М-ва энергетики Рос. Федерации от 30.06.03 №277.

2 СТО 59012820.29.240.001-2011. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования: утв. и введ. в действие приказом ОАО «СО ЕЭС» №102 от 19.04.11.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проек-

тированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосистема, противоаварийная автоматика
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Брухис Григорий Леонидович, главный специалист ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Бутына Лидия Георгиевна, начальник отдела ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Воронин Владимир Александрович, первый заместитель генерального директора - главный инженер ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Жмурко Виталий Евгеньевич, начальник департамента ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Хозяинов Николай Васильевич, начальник отдела ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105318, г.Москва, ул.Ткацкая, 1, ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ОЦЕНКА И ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ В СЕТЯХ 110-220 кВ

ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

А.А. Рубцов

ASSESSMENT AND LIMITATION OF TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE IN 110-220 KV POWER NETWORK WITH LINE REACTORS

Institute ENERGOSETPROJECT

A.A. Rubtsov

The paper analyses high voltage circuit breaker operation when used in connection with line reactor. In these conditions transient recovery voltage is assessed and measures for its limitation are proposed.

Keywords: transient recovery voltage, limiting reactors

Рассматриваются условия работы выключателей высокого напряжения при использовании в их цепях токоограничивающих реакторов по критерию переходных восстанавливющихся напряжений. Производится оценка необходимых дополнительных мероприятий для снижения скорости восстановления напряжения.

Развитие электрических сетей идет по пути увеличения пропускной способности сетей, роста плотности генерирующих мощностей. Эти процессы сопровождаются ростом уровней токов коротких замыканий, которые на определенном этапе превышают параметры установленного на электросетевых объектах оборудования. Разрешение указанной задачи возможно как за счет замены оборудования на обладающее более высокими характеристиками (например, установка выключателей с более высокой отключающей способностью), так и за счет применения мер по ограничению токов короткого замыкания.

Одной из мер ограничения токов короткого замыкания является применение токоограничивающих реакторов (TOP). Однако, негативное влияние TOP заключается в увеличении скорости переходных восстанавливющихся напряжений (ПВН) при коммутации выключателей в цепи TOP.

Установка TOP на подстанции вносит изменение в её электрическую схему и влияет на параметры ПВН как для выключателя в цепи с TOP, так и для выключателей других присоединений.

На рисунке 1 показана схема условной электрической подстанции (станции) с указанием возможных мест возникновения короткого замыкания.

Наиболее тяжелые условия для выключателя, работающего в цепи с TOP (B1), будут наблюдаться в следующих режимах: отключение короткого замыкания на шинах (точка K1), отключение короткого замыкания на присоединении за TOP, работающем в цепи с рассматриваемым выключателем (точка K2), и отключение короткого замыкания за TOP на смежном присоединении в случае действия УРОВ (точка K3).

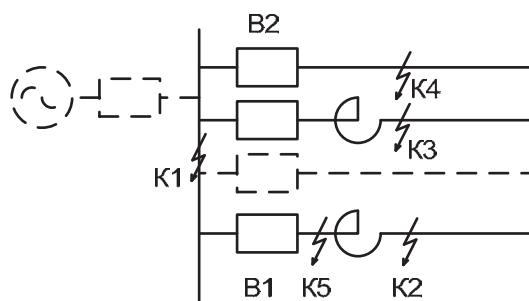


Рисунок 1 – Возможные точки короткого замыкания на подстанции (станции)

Для выключателей присоединений без ТОР (В2) наиболее тяжелые условия создаются при отключении замыканий за ТОР (точка К2) в случае действия УРОВ. В остальных случаях наличие в схеме ТОР непосредственного влияния на процессы при работе выключателя В2 не оказывает.

Для других случаев условия работы выключателей будут более легкими.

Расчет ПВН производится обычно методом включения обратного тока. Этот метод заключается в том, что между разомкнутыми контактами выключателя включается источник тока, задающий ток, равный по величине и противоположный по направлению току, протекавшему через выключатель до его размыкания.

В таблице 1 показаны расчетные схемы для определения ПВН при указанных ранее наиболее тяжелых случаях отключения тока короткого замыкания.

Таблица 1 – Расчетные схемы для расчета ПВН при отключении коротких замыканий в различных точках выключателями присоединений с ТОР (В1) и без ТОР (В2)

Точка К3	Схема для расчета ПВН при отключении выключателем	
	В1	В2
K1		
K2		
K3		–

На схемах таблицы 1 обозначены: i_k -источник тока, моделирующий отключаемый ток короткого замыкания; L_p , L_{p2} - индуктивность ТОР; C_p , C_{p2} -входная емкость ТОР и элементов РУ, расположенных между ТОР и выключателем; Z_B , Z_{B2} -сопротивление линии, в цепи которой включен ТОР; $Z_{B\Sigma}$ -суммарное волновое сопротивление линий, подключенных к РУ подстанции (станции), кроме линий, работающих в цепи с ТОР; СРУ – суммарная емкость РУ подстанции (станции); L_Γ -эквивалентная индуктивность генераторов и блочных трансформаторов, подключенных к РУ.

Из сравнения схем таблицы 1 видно, что они представляют собой ту или иную комбинацию двух схем: схемы, определяющей составляющую ПВН со стороны ТОР (рисунок 2), и схемы, определяющей составляющую ПВН со стороны шин подстанции (рисунок 3).

Согласно действующему ГОСТ 52565-2006, а также ГОСТ 687-78, использовавшемся при изготовлении выключателей ранее, выключатель должен выдерживать ПВН при условии, что расчетная линия ПВН не превышает нормированную линию ПВН и, в то же время, один раз пересекает линию запаздывания и вторично её не пересекает. При работе выключателя в цепи с ТОР определяющим является второе условие, так как наличие ТОР обуславливает очень высокие скользящие напряжения.

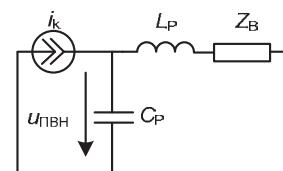


Рисунок 2 – Схема для расчета составляющей ПВН со стороны ТОР

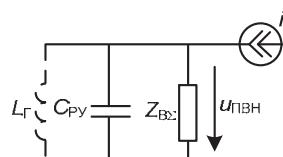


Рисунок 3 – Схема для расчета составляющей ПВН со стороны шин

ности ПВН.

На рисунке 4 показан пример нормированной линии ПВН и линии запаздывания.

Ниже рассматривается аналитическое описание процесса восстановления напряжения и определения мер по его ограничению.

Схема на рисунке 3 аналогична схеме для расчета ПВН на присоединениях без ТОР. В первом приближении (при пренебрежении емкостью РУ и индуктивностью присоединенных генераторов) ПВН в этом случае может быть оценен как

$$u(t) = \sqrt{2} I_k Z_{B\Sigma} t. \quad (1)$$

Более подробно методика расчета ПВН рассмотрена, например, в [1].

Далее рассматривается вопрос о вычислении составляющей ПВН со стороны ТОР.

ПВН в схеме по рисунку 4 соответствует напряжению на конденсаторе C_p , для которого справедливо следующее дифференциальное уравнение

$$\frac{d^2 u(t)}{dt^2} + \frac{Z_B}{L_p} \frac{du(t)}{dt} + \frac{1}{L_p C_p} u(t) = \sqrt{2} I_k \left(\frac{\omega}{C_p} \cos \omega t + \frac{Z_B}{L_p C_p} \sin \omega t \right), \quad (2)$$

где ω – угловая частота установившегося тока короткого замыкания.

Решение уравнения (2) представляет собой колебательный процесс, описываемый следующим выражением

$$u(t) = u_y(t) - \exp(\alpha t) (A_1 \cos \omega_{ce} t + A_2 \sin \omega_{ce} t), \quad (3)$$

где $u_y(t)$ – вынужденная составляющая напряжения;
 A_1, A_2 – постоянные интегрирования;
 α – коэффициент затухания;
 ω_{ce} – частота колебаний свободной составляющей напряжения.

Таким образом, для снижения скорости ПВН необходимо уменьшить частоту свободных колебаний.

Формулы для расчета частоты колебаний составляющей напряжения и коэффициента затухания приведены ниже:

$$\alpha = -\frac{1}{2} \frac{Z_d}{L_p}; \omega_{ce} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{4L_p - Z_d C_p}{L_p^2 C_p}}. \quad (4)$$

Кроме того, для удобства дальнейших преобразований можно ввести понятие частоты колебаний свободной составляющей идеального LC-контура с теми же параметрами L и C , что и в расчетной схеме

$$\omega_{ce0}^2 = \omega_{ce}^2 - \alpha^2 = \frac{1}{L_p C_p}. \quad (5)$$

Из приведенных выражений следует, что снижение частоты свободных колебаний и скорости ПВН возможно за счет включения между выключателем и ТОР дополнительной емкости, то есть увеличение параметра C_p .

Для того чтобы обеспечить пересечение линией ПВН линии запаздывания только один раз, можно задаться условием, чтобы она пересекала её в её окончании, то есть в точке (t', u') . Это условие позволяет определить требуемую величину емкости.

Для того чтобы получить аналитическое решение уравнения (3) вводятся следующие упрощения: составляющие сетевой частоты заменяются их первыми приближениями; составляющие частоты вынужденных колебаний заменяются их рядами Тейлора до членов второго порядка включительно.

Тогда после преобразований уравнение (3) примет вид

$$u(t) = \frac{\sqrt{2}}{2} I_k \left(X \omega_{ce0}^2 t^2 + R^2 \frac{\omega^2 t^2}{X} \right). \quad (6)$$

Из уравнения (6) можно найти требуемую частоту колебаний свободной составляющей, а затем и требуемую величину емкости

$$C = \frac{\frac{\sqrt{2}}{2} I_k \omega(t')^2}{u' - \frac{\sqrt{2}}{2} I_k \frac{R^2}{X} \omega^2(t')^2}. \quad (7)$$

Для случая $R = 0$ выражение (7) упрощается

$$C_{p0} = \frac{\sqrt{2} I_k \omega(t')}{u'}. \quad (8)$$

Как видно в выражении для емкости отсутствует в качестве параметра сопротивление ТОР. Оно учитывается неявно через величину I_k .

Формулы (7) и (8) позволяют рассчитать требуемую емкость, обеспечивающую соответствие параметров ПВН нормированным. Следует отметить, что за счет сделанных упрощений, эти формулы обычно дают завышенное значение емкости.

Если в рассматриваемой схеме ПВН состоит помимо составляющей со стороны ТОР также из составляющей стороны шин подстанции (например, при отключении замыканий в точках К2 и К3 см. рисунок 1), то требующаяся емкость может быть также определена по выражениям (7) и (8) при подстановке в них вместо u' разности

$$u' - \Delta u,$$

где Δu – значение составляющей ПВН со стороны шин, рассчитанное на момент времени t' .

Если величину тока короткого замыкания выразить через наибольшее рабочее напряжение сети U_{hp} как $I_k \approx U_{hp}/X$, то можно получить следующую форму выражения (8)

$$C_{p0} = \frac{\sqrt{2} \omega k_u U_{hp}^2}{(s')^2 X}, \quad (9)$$

где

$$k_u = u'/U_{hp};$$

$$s' = u'/t'.$$

Выражение (9) показывает, что при применении ТОР одного и того же сопротивления требуемая емкость растет пропорционально квадрату напряжения сети. Таким образом, применение ТОР тем более затруднено, чем выше номинальное напряжение сети.

Заключение:

– При планировании применения ТОР как меры ограничения токов короткого замыкания в сетях высокого напряжения обязательно должны проверяться условия работы выключателей по критерий переходных восстанавливающихся напряжений.

– Основное внимание следует уделять процессам при отключении выключателем в цепи с ТОР замыканий на шинах и на коммутируемом присоединении за ТОР. Кроме того, повышение скорости ПВН из-за установки ТОР может наблюдаться при работе схемы УРОВ, а именно, при отключении коротких замыканий на присоединении, защищенным ТОР, выключателями смежных присоединений.

– Оценить техническую осуществимость применения ТОР для ограничения токов КЗ в конкретной схеме можно путем вычисления величины необходимой емкости оборудования между выключателем и ТОР по формулам (7) и (8). Если обеспечить полученное значение емкости затруднительно с технической точки зрения, от применения ТОР следует отказаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Электрическая часть станций и подстанций: учеб. для вузов / А.А. Васильев [и др.]; под ред. А.А. Васильева. -2-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1990.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: переходные восстанавливающиеся напряжения, токоограничивающие реакторы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Рубцов Александр Андреевич, заместитель заведующего лабораторией ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105318, г.Москва, ул.Ткацкая, 1, ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕ 220 кВ КУРЕЙСКАЯ ГЭС-УСТЬ-ХАНТАЙСКАЯ ГЭС-НОРИЛЬСК

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

М.В. Данилов, В.А. Маковцев, В.О. Чершова, Д.Н. Бородин

CALCULATION FEATURES OF THE ALLOWABLE POWER FLOWS THROUGH THE TRANSMISSION 220 KV KUREIKA HYDRO POWER PLANT - UST-KHANTAI HYDRO POWER PLANT - NORILSK

Institute of power system automation

M.V. Danilov, V.A. Makovtsev, V.O. Chershova, D.N. Borodin

The article discusses the approaches and methods of power system electrical modes calculation for maximum allowable active power flows assignment at the indicated lines. Also the recommendations on the automated Advisor Manager organization for the considered power system is presented.

Keywords: static and dynamic stability, maximum allowable power flow, emergency allowable power flow

Рассматриваются подходы и методы расчета режимов энергосистемы с целью назначения максимально допустимых и аварийно допустимых перетоков активной мощности по обозначенным связям. Также представлены рекомендации по организации системы автоматизированного советчика диспетчера для рассмотренной энергосистемы.

Норильско-Таймырская энергосистема является мощной изолированной энергосистемой с высшей степенью напряжения 220 кВ. Основная часть нагрузки энергосистемы в виде различного вида заводов сосредоточена в Норильском энергоузле. Помимо этого в Норильском энергоузле имеются три ТЭЦ общей установленной мощностью 1205 МВт. На значительном удалении от Норильского энергоузла располагаются Курейская ГЭС (КГЭС), установленной мощностью 600 МВт, и Усть-Хантайская ГЭС (УХГЭС), установленной мощностью 441 МВт. Связь между КГЭС и УХГЭС осуществляется по двум линиям 220 кВ с сечением провода 400 мм² и одной линией 220 кВ сечением 240 мм² со средней протяженностью связи порядка 240 км. Связь между УХГЭС и Норильском осуществляется посредством четырех линий 220 кВ сечением провода 40 мм² со средней протяженностью связи порядка 160 км.

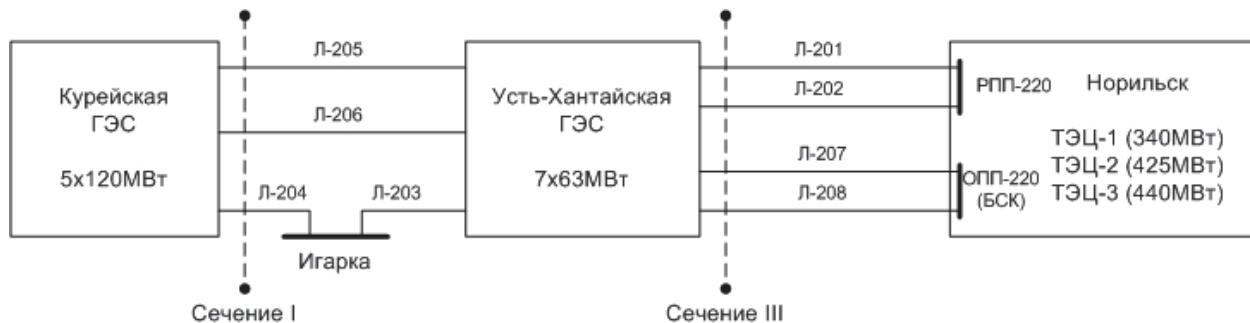


Рисунок 1 – Схема энергоснабжения Норильско-Таймырской энергосистемы

Основной целью ведения режима Норильско-Таймырской энергосистемы является выдача максимальной мощности КГЭС и УХГЭС. Ограничивающими выдачу мощности станций условиями являются условия обеспечения статической и динамической устойчивости и допустимой токовой загрузки оборудования по связям между упомянутыми ГЭС и Норильской энергосистемой. При этом на значение максимально-допустимого перетока оказывают влияние множество факторов.

ЗАО «ИАЭС» в 2013 г. был выполнен проект по расчету режимов работы Норильско-Таймырской энергосистемы с целью назначения максимально-допустимых (МДП) и аварийно-допустимых (АДП) перетоков активной мощности по электропередаче 220 кВ Курейская ГЭС-Усть-Хантайская ГЭС - Норильск при различных схемно-режимных условиях.

К значимым схемно-режимным условиям (СРУ) были отнесены следующие [1]:

- режимы сезонных изменений нагрузки энергосистемы (3 режима);
- состояние (работа, ремонт) ВЛ 220 кВ (14 схем);
- число включенных в работу гидроагрегатов на Курейской и Усть-Хантайской ГЭС и их

загрузка (20 составов генераторов);

– число включенных в работу генераторов на ТЭЦ ОАО «НТЭК» номинальной мощностью 100 МВт (от 4 до 9 ТГ), по 3 состава;

– число включенных в работу БСК на ПС ОПП-220 (9 штук).

Предельные перетоки мощности по сечениям I и III определены посредством увеличения мощности генерации КГЭС при различных мощностях выдачи активной мощности УХГЭС и уменьшения мощности генерации ТЭЦ ОАО «НТЭК». В результате получены ограничения области возможных перетоков активной мощности по условию сохранения статической устойчивости в координатах P_{III}, P_I . Для определения допустимых перетоков сечений I и III с запасом 20% и 8% в качестве возможных рассматривались следующие стратегии обеспечения требуемых коэффициентов запаса по активной мощности от предельного режима:

– обеспечение запасов 20% и 8% только в сечении I при сохранении перетока активной мощности сечения III на уровне, достигнутом в последнем сходящемсяся режиме при утяжелении, что соответствует вектору разгрузки №1 рисунок 2;

– обеспечение запасов 20% и 8% только в сечении III при сохранении перетока активной мощности сечения I на уровне, достигнутом в последнем сходящемсяся режиме при утяжелении, что соответствует вектору разгрузки №2 рисунок 2;

– обеспечение запасов 20% и 8% в сечении I и разгрузка сечения III по направлению вектора регулирования КГЭС и УХГЭС, что соответствует вектору разгрузки №4 рисунок 2;

– обеспечение запасов 20% и 8% в сечении III и разгрузка сечения I по направлению вектора регулирования КГЭС и УХГЭС, что соответствует вектору разгрузки №3 рисунок 2.

Применение вектора регулирования ГЭС имеет следующий смысл: при возникновении небаланса в рассматриваемой энергосистеме, для его компенсации увеличивается переток активной мощности по сечениям I и III путем загрузки введенных в работу генераторов КГЭС и УХГЭС под действием автоматических регуляторов скорости турбин (АРС). Вследствие одинакового статизма регуляторов ГЭС, каждый из находящихся в работе генераторов увеличит свою загрузку на одинаковую величину в процентном соотношении от своей номинальной мощности. Следовательно, увеличится переток активной мощности по обоим рассматриваемым сечениям. Так, при полном составе генераторов на КГЭС и УХГЭС при возникновении небаланса в ЭС произойдет увеличение перетока активной мощности по сечениям в соотношении (5·120=600 МВт, 5·120+7·63=1041 МВт) $P_I/P_{III} = 600/1041$, что и будет определять направление вектора разгрузки №3 и №4 рисунка 2.

Кроме того, существует еще один возможный вектор разгрузки – при выходе генераторов КГЭС или УХГЭС на максимум располагаемой активной мощности. При выходе генераторов КГЭС на максимум располагаемой мощности, дальнейшее утяжеление режима вызовет увеличение перетока только по сечению III. Следовательно, выполнять разгрузку в этом случае необходимо только по сечению III. Но при этом вектор разгрузки будет полностью повторять вектор №2 рисунка 2, и следовательно, эта ситуация не требует отдельного рассмотрения.

Если на предел по активной мощности выходят генераторы УХГЭС, то весь возникший

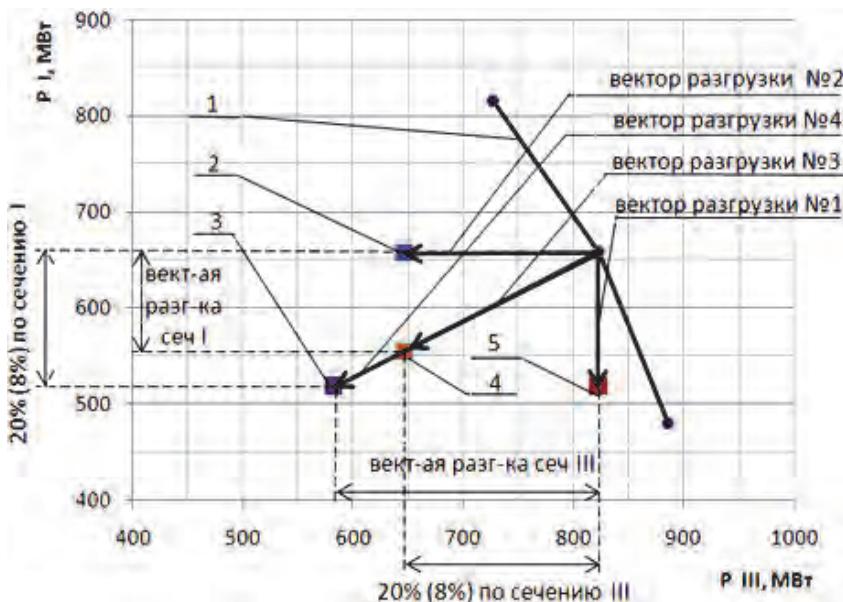


Рисунок 2 – Варианты векторных способов разгрузки сечений I и III: 1-кривая предельного перетока по условию сохранения статической устойчивости; 2, 3, 4, 5-точки, полученные по векторам разгрузки №2, 4, 3, 1 соответственно

небаланс возьмут на себя генераторы КГЭС. В этом случае произойдет увеличение перетока по обоим рассматриваемым сечениям на одинаковую величину. Направление вектора разгрузки тогда таково, что при соблюдении необходимого коэффициента запаса по активной мощности по одному из сечений, по другому сечению необходимо произвести такую же разгрузку. Поскольку при выходе УХГЭС на предел по располагаемой мощности переток по сечению III всегда больше перетока по сечению I, при данных условиях необходимо разгружать сечение III до соблюдения необходимого коэффициента запаса, а сечение I векторно, согласно описанному ранее.

Учет коэффициента запаса по напряжению производился следующим образом. На основании информации о деятельности различных заводов Норильского энергоузла и рекомендаций [2] были подобраны доли двигательной нагрузки в общей эквивалентной нагрузке заводов и параметры модели эквивалентной двигательной нагрузки. Далее в программе расчета переходных процессов моделировалось плавное ступенчатое снижение напряжения на шинах каждого из заводов путем снижения сопротивления реактивного шунта. Напряжение, при котором эквивалентная двигательная нагрузка завода опрокидывалась, принималось за критическое.

В результате расчетов предельных перетоков активной мощности по обозначенным сечениям, напряжение на шинах заводов Норильского энергоузла не было ниже аварийно допустимого или длительно допустимого уровня напряжений. Следовательно, ограничение режима по условию соблюдения нормативных коэффициентов запаса по активной мощности более жесткие, чем по условию соблюдения нормативных коэффициентов запаса по напряжению.

Расчет переходных процессов с целью оценки динамической устойчивости энергосистемы производились при возмущениях вблизи шин КГЭС и УХГЭС. Самым тяжелым расчетным видом возмущения по результатам оценочных расчетов является отключение сетевого элемента (ВЛ 220 кВ) действием УРОВ при однофазном КЗ с отказом одного выключателя. При этом, возмущение III группы «отключение сетевого элемента действием УРОВ при трехфазном КЗ с отказом одного выключателя» при назначении допустимых перетоков не рассматривалось ввиду неэффективности противоаварийных мероприятий.

Особенностью учета ограничения перетоков активной мощности по условию сохранения динамической устойчивости является тот факт, что не все вышеперечисленные факторы, влияющие на допустимые перетоки по условию статической устойчивости, оказывают влияние на допустимые перетоки по условию динамической устойчивости. Так, на уровень допустимых перетоков по условию сохранения динамической устойчивости не оказывает влияние число включенных в работу генераторов на ТЭЦ ОАО «НТЭК» номинальной мощностью 100 МВт и число включенных в работу БСК на ПС ОПП-220. Это обстоятельство означает, что при различных СРУ ограничивающим фактором будет условие сохранения или динамической или статической устойчивости.

Другой особенность расчета динамической устойчивости энергосистемы является учет действий УВК АДВ, установленных на КГЭС и УХГЭС. Данные комплексы противоаварийной автоматики применяются для сохранения динамической и статической устойчивости Норильско-Таймырской энергосистемы и в качестве управляющих воздействий выполняют отключение генераторов КГЭС и/или УХГЭС.

Особенность настройки УВК АДВ на УХГЭС и КГЭС такова, что они имеют разные установки срабатывания и в качестве управляющих воздействий имеют разный объем отключения генераторов в пределах одного состояния схемы сети (полная схема, вывод в ремонт ВЛ 220 кВ). Помимо этого, время реализации управляющих воздействий для каждого из упомянутых устройств также является разным.

В результате, область возможных перетоков активной мощности по сечениям I,III является разделенной на участки, в каждом из которых выполняется определенное действие противоаварийной автоматики. Если предельный переток по сечениям I,III по условию сохранения динамической устойчивости выходит за границы своего участка, то на границе этого участка ограничение допустимого перетока по условию сохранения динамической устойчивости совершают скачок до ограничения допустимого перетока соседнего участка. Отсюда, общая граница лимитирования режима по условию сохранения динамической устойчивости имеет нелинейный характер. Пример такой границы показан на рисунке 3.

По результатам расчетов устойчивости были составлены итоговые таблицы и соответствующие им графическое отображение областей допустимых перетоков активной мощно-

сти по электропередаче 220 кВ Курейская ГЭС-Усть-Хантайская ГЭС - Норильск. Полученные результаты расчетов устойчивости показали влияние различных схемно-режимных условий (СРУ) на допустимые перетоки по электропередачи, наиболее значимые из которых были учтены при определении МДП и АДП по контролируемым сечениям.

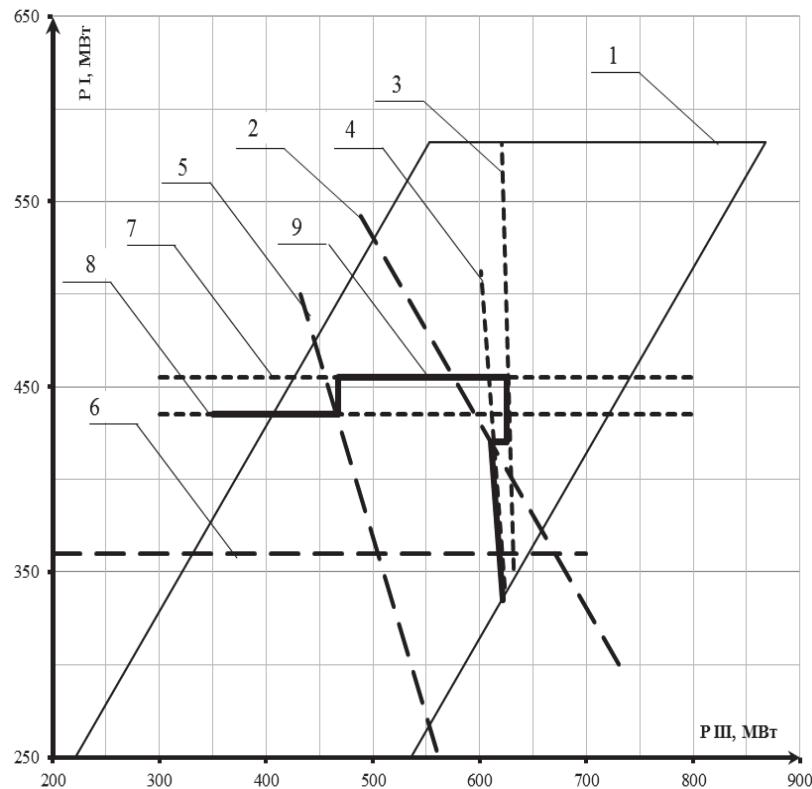


Рисунок 3 – Предельные перетоки активной мощности по условию сохранения динамической устойчивости с учетом действия ПА (зимний максимум, 5ГТ КГЭС, 5ГТ КГЭС): 1-область возможных перетоков активной мощности по сечениям I, III согласно установленной мощности КГЭС и УХГЭС; 2-уставка срабатывания УВК АДВ УХГЭС по условию сохранения статической устойчивости при отключении линии в сечении III (ОГ-2 КГЭС); 3-предельный переток по условию сохранения динамической устойчивости УХГЭС при однофазном КЗ с действием УРОВ на отключение Л-201 с действием ПА на отключение двух генераторов КГЭС; 4-предельный переток по условию сохранения динамической устойчивости УХГЭС при однофазном КЗ с действием УРОВ на отключение Л-201 без действия ПА; 5-уставка срабатывания УВК АДВ УХГЭС по условию сохранения статической устойчивости при отключении линии в сечении I (ОГ-2 КГЭС); 6-уставка срабатывания УВК АДВ КГЭС по условию сохранения динамической устойчивости при КЗ у шин КГЭС (ОГ-3 КГЭС); 7-предельный переток по условию сохранения динамической устойчивости КГЭС при однофазном КЗ с действием УРОВ на отключение Л-205 с действием ПА на отключение двух генераторов КГЭС; 8-предельный переток по условию сохранения динамической устойчивости КГЭС при однофазном КЗ с действием УРОВ на отключение Л-205 с действием ПА на отключение трех генераторов КГЭС (время реализации УВ больше, чем для пункта 7); 9-результатирующие ограничения перетоков по сечениям I, III по условию сохранения динамической устойчивости.

Ввиду большого количества полученных комбинаций СРУ таблично-графическая информация о допустимых режимах оказывается чрезвычайно большого объема [3]: три таблицы по 840 строк и соответствующие им 840 рисунков. Число включенных в работу БСК на ПС ОПП-220 учитывается с помощью поправочных коэффициентов. Такого размера таблицы и такое количество графиков затруднительно применять в процессе диспетчерского управления энергосистемой. В данной ситуации возможны два направления упрощения задачи диспетчеризации [1].

Традиционное направление. Упрощение полученных результатов путем не учёта ряда влияющих факторов. Это возможно за счет принятия в качестве расчетных условий наиболее тяжелые. В свою очередь данный подход приведет к излишнему ограничению (снижению) допустимых перетоков. В настоящий момент в большинстве случаев так и делается.

Альтернативой традиционному подходу может стать создание автоматизированной сис-

темы помощника (советчика) диспетчеру, которая позволит избежать занижений допустимых перетоков. Под автоматизированной системой помощника (советчика) диспетчеру (АСПД) понимается комплекс программно-аппаратных средств, в задачи которого входит определение допустимых перетоков (МДП, АДП) для текущих или заданных схемно-режимных условий работы энергосистемы. Возможны три варианта по способу реализации АСПД.

Вариант 1. Допустимые перетоки по сечениям определяются путем выборки из заранее рассчитанных таблиц и графиков. В этом случае АСПД будет представлять собой программный продукт, который позаданным СРУ из таблиц и рисунков будет выбирать значения допустимых перетоков, отображая их в цифро-графическом виде. К недостаткам данного варианта можно отнести следующее:

- расчеты выполняются «ручным» способом, то есть выполняются людьми с применением программных средств;
- занижение допустимых перетоков из-за принятия в «ручных» расчетах некоторых допущений и загрублений, а также из-за аппроксимаций зависимостей допустимых перетоков по сечениям;
- необходимость периодического перерасчета таблиц (возможно ежегодного, при изменении нагрузки).

Вариант 2. Допустимые перетоки определяются путем автоматических расчетов статической и динамической устойчивости по заданным моделям энергосистемы. Данный вариант предполагает, что АСПД по запросу диспетчера на основании введенных вручную или полученных от автоматической системы сбора информации схемно-режимных условий будет самостоятельно рассчитывать значения допустимых перетоков, используя программные модели, алгоритмы и методы расчета. Данный вариант реализации АСПД позволит наиболее точно определять МДП и АДП, соответствующих конкретным СРУ, и избавиться от недостатков варианта 1. В подавляющем большинстве случаев это приведет к увеличению допустимых перетоков по контролируемым сечениям. Недостатком варианта 2 является необходимость создания расчетной модели и создания алгоритма оценки динамической устойчивости в темпе процесса.

Вариант 3. Определение допустимых перетоков выполняется путем автоматического расчета ограничения режима по условиям статической устойчивости, используя заданную модель сети, а ограничения по условию динамической устойчивости выбираются из заранее рассчитанной таблицы. Такой способ позволит более точно определять допустимый переток по статической устойчивости, по сравнению с первым вариантом, что в большинстве случаев приведет к их увеличению. Недостатком варианта 3 является необходимость создания расчетной модели энергосистемы.

Таким образом, основными особенностями Норильско-Таймырской энергосистемы является зависимость допустимых перетоков по условиям устойчивости от множества схемно-режимных условий при их взаимном влиянии друг на друга. Учет всех этих особенностей сводится к усложнению инструкций по ведению режима для диспетчера энергосистемы, в связи с чем предлагается применение в данной энергосистеме автоматизированной системы помощника (советчика) диспетчера.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Оптимизация режимов работы передачи Курейская ГЭС-Усть-Хантайская ГЭС-Норильск на период до реализации проекта ВС-АСДУ. Внестадийная работа. Расчеты устойчивости сети 220кВ Норильской энергосистемы: НТЭК-32-194/ 13-Т1.

2 Гуревич, Ю.Е. Применение математических моделей нагрузки в расчетах устойчивости энергосистем и надежности электроснабжения промышленных потребителей / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова. -М.: ЭЛЕКС-КМ, 2008. -248 с.: ил.

3 Оптимизация режимов работы передачи Курейская ГЭС-Усть-Хантайская ГЭС-Норильск на период до реализации проекта ВС-АСДУ. Внестадийная работа. Максимально-допустимые и аварийно-допустимые значения перетоков активной мощности: НТЭК-32-194/ 13-Т2.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: статическая и динамическая устойчивость, максимально допустимый переток, аварийно допустимый переток

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Данилов Максим Владимирович, заведующий отделом ЗАО «ИАЭС»
Маковцев Виктор Александрович, заведующий сектором ЗАО «ИАЭС»
Чершова Валерия Олеговна, заведующая сектором ЗАО «ИАЭС»

Бородин Дмитрий Николаевич, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ: ПС 1150 кВ ИТАТСКАЯ, БОГУЧАНСКОЙ ГЭС, САЯНО- ШУШЕНСКОЙ ГЭС, ХАРАНОРСКОЙ ГРЭС

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.К. Ландман, Г.П. Попов, М.В. Данилов, В.А. Маковцев

EXPERIENCE OF EMERGENCY CONTROL SYSTEMS DESIGN OF LOCAL AUTOMATIC INSTABILITY PREVENTION (LAIP) ON THE EXAMPLE OF SUBSTATION 1150 KV ITATSKAYA, LAIP BOGUCHANSKAYA HPP, LAIP SAYANO-SHUSHENSKAYA HPP, LAIP HARANORSKAYA SPP

Institute of power system automation
Landman, G.P. Popov, M.V. Danilov, V.A. Makovtsev

The present structure of emergency control systems (ECSs) in Siberian United Electrical System (UES) was formed into areas of emergency management with the direct participation of the "Power System Automation Institute". The obtained experience of the design and operation indicates the need to develop different approaches to organize the emergency control taking into account the individual characteristics of electrical power objects. The article gives a brief overview of the last years main projects on the ECSs organization and highlights their main special features.

Keywords: emergency control, static and dynamic stability, control area, power system

Сложившаяся в настоящее время структура противоаварийного управления (ПАУ) в ОЭС Сибири с разделением энергосистемы на районы противоаварийного управления формировалась при непосредственном участии «Института автоматизации энергетических систем». Полученный при этом опыт проектирования и эксплуатации показывает необходимость разработки различных подходов при организации противоаварийного управления, учитывающих индивидуальные особенности электроэнергетических объектов. В статье приводится краткий обзор выполненных за последние годы основных работ по организации систем ПАУ, выделены их основные особенности.

В настоящее время система ПАУ ОЭС Сибири представляет собой иерархическую двухуровневую структуру управления.

Верхний уровень – ЦСПА ОЭС Сибири – предназначен для расчета и выбора ступеней управляющих воздействий (УВ) по принципу 1-ДО с целью предотвращения нарушения статической устойчивости в ОЭС Сибири. Для формирования УВ на верхнем уровне ЦСПА используется доаварийная информация о режиме работы и состоянии элементов сети 500, 220 и частично 110 кВ, получаемая из ОИК ОДУ Сибири.

Нижний уровень – ЛАПНУ районов управления – предназначен для реализации УВ для всего объема контролируемых пусковых органов в своем районе управления в составе иерархической структуры по сигналам настройки от ЦСПА (функция вынесенного АЗД), а также для выбора УВ по упрощенному алгоритму 2-ДО при отсутствии, по различным причинам, настроечных сигналов от ЦСПА. Для организации контроля необходимого объема доаварийной информации на уровне ЛАПНУ предусмотрены собственные системы сбора и передачи информации (ССПИ) районов управления.

Одним из районов противоаварийного управления в ОЭС Сибири является район, контролируемый ЛАПНУ ПС 1150 кВ Итатская. Данный район управления является одним из крупных и протяженных по географии районов ПАУ в ОЭС Сибири. ЛАПНУ ПС 1150 кВ Итатская включает в себя объекты 500 кВ на западе ПС 500 кВ Заря, Барнаульская, ПС 1150 кВ Алтай до Красноярской ГЭС – на востоке. Данный район как объект управления был сформирован в 1980-х годах с центром дозировки на ПС 1150 кВ Итатская. В качестве устройства АДВ первоначально было предусмотрено устройство контроля мощности предшествующего режима на базе типовых шкафов производства Чебоксарского электроаппаратного завода (УДВР). Затем в качестве устройства АДВ был запроектирован и внедрен телеавтоматический комплекс на базе аппаратуры ТА-100 и ТМ-131(УДВП) производства НЗТА (г. Нальчик). Выбор управляющих воздействий осуществлялся по принципу 2-ДО с целью предотвращения нарушения статической устойчивости. Для получения необходимой доаварийной информации о состоянии и режиме работы контролируемой сети с удаленных объектов, выполнена система сбора и передачи информации (ССПИ) с применением аппаратуры ТМ-800.

С появлением на отечественном рынке современной высоконадежной программируе-

мой микропроцессорной техники для ПС 1150 кВ Итатская начались работы по замене существующего устройства АДВ на базе аппаратуры ТА-100, ТМ-131, морально устаревшего на тот период времени (2001-2002 гг.). Работы велись в направлении использования новых современных технических средств, разработки собственного алгоритмического и технологического программного обеспечений.

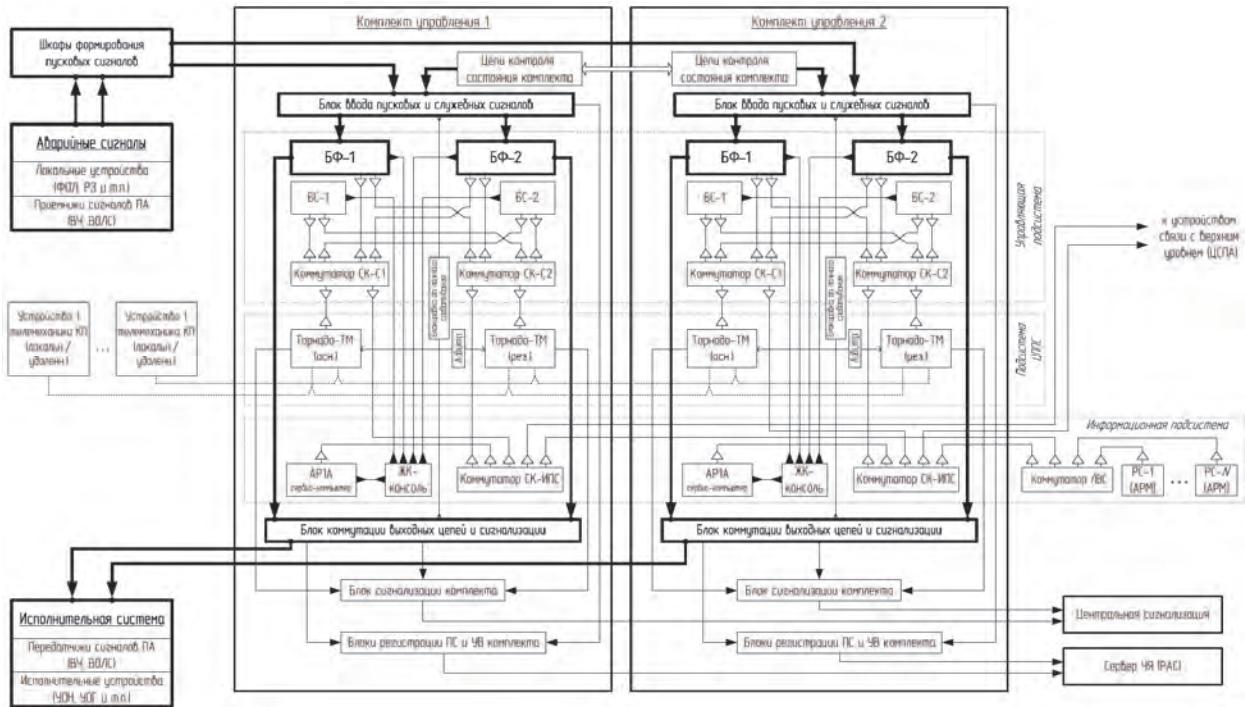


Рисунок 1 – Структурно-функциональная схема УВК АДВ ПС 1150 кВ Итатская

В 2003 г. управляющий вычислительный комплекс с функцией АДВ на ПС 1150 кВ Итатская на базе микропроцессорной, программируемой технике после завершения необходимых процедур по согласованию проектной документации, проведения заводских и комплексных испытаний на объекте, проведения опытной эксплуатации, был введен в промышленную эксплуатацию [1].

Данный комплекс содержал два микропроцессорных устройства управления (терминала) на базе шасси размером 6U с возможностью размещения в 19 дюймовую стойку. В качестве элементной базы были использованы стандартные платы заводского исполнения фирм «Octagon Systems», «Advantech».

Комплекс позволял обработать 24 пусковых органов с возможностью формирования 48 ступеней управляющих воздействий (УВ). Выбор УВ осуществлялся по принципу 2-ДО с контролем мощности по 5 (пяти) расчетным сечениям. Доаварийная информация о состоянии и режиме работы контролируемых элементов сети с удаленных объектов (ПС 500 кВ Барнаульская, Ново-Анжерская, Саяно-Шушенская ГЭС, Красноярская ГЭС) к УВК АДВ на ПС 1150 кВ Итатская передавалась с помощью аппаратуры телемеханики типа ТМ-800 по ВЧ каналам, организованным по ВЛ 500 кВ. На протяжении всего времени эксплуатации данный комплекс работал безотказно, с перерывами только на время проведения регламентных работ.

Развитие энергообъединения ОЭС Сибири, а также появление дополнительных требований к ЛАПНУ, в связи с началом формирования в ОЭС Сибири двухуровневой системы ПАУ, в 2010 г. были начаты работы по реконструкции данного комплекса.

К концу 2010 г. была выполнена проектная документация и получено положительное заключение государственной экспертизы. В течение 2011 г. выполнялись проектные работы на стадии рабочая документация, изготовление и поставка оборудования на объект, велись строительно-монтажные, пуско-наладочные, шеф-монтажные, шеф-наладочные работы оборудования на объекте, проводились испытания устройства УВК АДВ и опытная эксплуатация его. В мае 2012 г. рабочая комиссия в составе представителей Подрядчика (ЗАО «ИАЗС»), Заказчика (ЦИУС Сибири г. Красноярск), МЭС Сибири, Красноярского предприятия МЭС Сибири, Системного оператора провела приемочные испытания УВК АДВ ПС

1150 кВ Итатская в соответствие с утвержденной программой, и приняла решение о включении данного комплекса в промышленную эксплуатацию.

Структура комплекса приведена на рисунке 1. Данный комплекс представляет собой два абсолютно независимых резервированных устройства АДВ, имеющих встроенные ЦПС для работы с устройствами телемеханики. Каждое устройство состоит из шкафа управления и кроссового шкафа.

Комплекс УВК АДВ предназначен для выбора ступеней управляющих воздействий с целью сохранения статической устойчивости при опасных аварийных возмущениях в контролируемом районе управления. Комплекс позволяет обеспечивать выполнение следующих функций:

- ввод и обработка доаварийной информации;
- расчет управляющих воздействий по способу II-ДО;
- запоминание рассчитанной дозировки;
- протоколирование работы;
- информационный обмен с устройством АДВ верхнего уровня (ЦСПА);
- прием и запоминание дозировки, рассчитанной устройством АДВ верхнего уровня;
- автоматический переход в автономный режим и выбор противоаварийного управления (выдачу команд УВ) в соответствии с собственной рассчитанной дозировкой при потере связи с устройством верхнего уровня;
- противоаварийное управление (выдачу команд УВ) при поступлении сигналов о срабатывании ПО в соответствии с дозировкой, сохраненной в АЗД.

Кроссовый шкаф УВК АДВ предназначен для подключения внешних цепей и связей комплекта управления, коммутации и управления пусковыми сигналами и сигналами управляющих воздействий, цепей сигнализации. С панели управления кроссового шкафа осуществляется контроль за режимами работы комплекса. Сзади шкафа располагаются ряды зажимов внешних подключений. Спереди расположена панель управления комплектом и модули ввода/вывода, подключаемые к БФ в шкафу управления своего комплекта гибкими шлейфами.

При необходимости, данный комплекс может осуществлять выбор дозировки УВ по принципу 1-ДО с целью предотвращения нарушения статической устойчивости, при условии возможности передачи в УВК АДВ в требуемом объеме доаварийной информации для представления адекватной модели управления.

Данный комплекс легко адаптируется к дополнительно появляющимся задачам в части противоаварийного управления, связанными с вводом новых объектов в контролируемом районе, например ПС 500 кВ Кузбасская, вторая цепь 500 кВ Алюминиевая-Абакан-Итатская, третий блок на Березовской ГРЭС, в перспективе – ВЛ 500 кВ Итатская-Енисей.

При проектировании ПА в связи со строительством третьего блока на Березовской ГРЭС мощностью 800 МВт и со строительством третьей цепи Березовская ГРЭС-ПС Итатская, была выявлена опасность нарушения динамической устойчивости генераторов Березовской ГРЭС при затянувшихся коротких замыканиях на отходящих ВЛ 500 кВ от ПС 1150 кВ Итатская. В настоящее время на стадии рабочего проектирования решается вопрос предотвращения нарушения динамической устойчивости с реализацией таких мероприятий, как ускорение действия УРОВ на выключателях 500 кВ ПС 1150 кВ Итатская, импульсной разгрузки турбин Березовской ГРЭС, отключение генераторов Березовской ГРЭС. Реализация тех или иных мероприятий по одиночке или в комплексе зависит от состояния ВЛ 500 кВ прилегающей сети, режима выдачи мощности генераторов Березовской ГРЭС, места возникновения и тяжести аварийного возмущения.

Для решения задачи предотвращения нарушения динамической устойчивости Березовской ГРЭС предусмотрена установка на ПС 1150 кВ Итатская устройства, выявляющего опасность короткого замыкания по величине суммарного сброса активной мощности прямой последовательности генераторов Березовской ГРЭС с контролем снижения напряжения прямой последовательности в течение заданного времени.

Для обмена информацией с ЦСПА верхнего уровня (в ОДУ Сибири, г. Кемерово) предусмотрены два канала на межмашинном уровне.

Как уже отмечалось, что район управления ЛАПНУ ПС 1150 кВ Итатская в ОЭС Сибири один из самых загруженных по решению задач ПАУ. В этой связи, по инициативе Системного оператора в 2011 г. была выполнена работа «Принципиальные технические решения по организации низового устройства ЦСПА в ОЭС Сибири на Саяно-Шушенской ГЭС», в кото-

рой предусматривалось разукрупнение района управления ЛАПНУ ПС 1150 кВ Итатская и передачи решения части задач на ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС. В работе были определены границы контролируемого района, количество пусковых органов, для которых требуется реализация противоаварийных мероприятий, ступени УВ и места их реализации, объем доаварийной информации о состоянии и режиме работы контролируемых элементов сети.

Конкретное воплощение основных технических решений по созданию ЛАПНУ СШГЭС осуществлялось в составе работы «Комплексная реконструкция ОРУ 500 кВ Саяно-Шушенской ГЭС». В настоящее время на данном объекте ведутся строительно-монтажные и пуско-наладочные работы. Работы ведутся с поэтапным переводом основных присоединений 500 кВ в помещение КРУЭ 500 кВ станции, в том числе и отдельных элементов ЛАПНУ. До завершения работ на СШГЭС и на смежных объектах управление продолжает осуществляться ЛАПНУ ПС 1150 кВ Итатская. Окончание строительных работ на СШГЭС планируется в третьем квартале 2014 г.

Структура ЛАПНУ СШГЭС приведена на рисунке 2. Система ЛАПНУ предназначена для выбора УВ по принципу 2-ДО для 18 пусковых органов по условиям предотвращения нарушения статической устойчивости и для 5 пусковых органов по условиям сохранения динамической устойчивости параллельной работы генераторов СШГЭС в послеаварийных режимах. В качестве основного противоаварийного мероприятия применяется пять ступеней ОГ на станции, в качестве балансирующего управления используются 11 ступеней отключения нагрузки в ОЭС Сибири. Выбор управления осуществляется с контролем суммарной выдачи активной мощности станции по ВЛ 500 кВ, отходящих от станции.

В отличие от ЛАПНУ Богучанской ГЭС выбор объема УВ в ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС для сохранения динамической устойчивости при возникновении коротких замыканий осуществляется не в устройстве УВК АДВ, а в устройстве фиксации тяжести КЗ (ФТКЗ) [2]. УВК АДВ только осуществляет выбор отключаемых генераторов станции и балансирующего ОН в ОЭС Сибири. Для выбора объема УВ в устройстве ФТКЗ необходим контроль предшествующего состояния схемы и режима. Сбор данных по доаварийной информации осуществляется устройством АДВ посредством собственной ССПИ. На основании этой информации в УВК АДВ определяется номер группы уставок, который передается в виде команды по цифровому каналу в устройство ФТКЗ. Кроме того для определения места возникновения КЗ в устройство ФТКЗ на Саяно-Шушенской ГЭС вводятся сигналы от устройств ФОЛ или РЗ. Выбор объема УВ непосредственно в устройстве ФТКЗ и контроль места возникновения аварийного возмущения позволили значительно уменьшить области излишних срабатываний.

ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС также применяется в качестве низового устройства в иерархической системе ПАУ ОЭС Сибири. Для обмена информацией с ЦСПА верхнего уровня (в ОДУ Сибири, г. Кемерово) предусмотрены два канала на межмашинном уровне.

Еще один район ПАУ в ОЭС Сибири был введен в работу в конце 2012 г. – ЛАПНУ Богучанской ГЭС.

Основные технические решения по созданию ЛАПНУ Богучанской ГЭС были разработаны в проекте «Строительство линии электропередачи от подстанции «Камала-1» до строящейся Богучанской ГЭС через п. Карабула» в 2008 г. [3].

Рабочее проектирование системы ЛАПНУ Богучанской ГЭС началось в 2010 г. В контролируемый район управления входят помимо Богучанской ГЭС, ПС 220 кВ Приангарская, ПС 500 кВ Ангара, Камала-1, Озерная.

Система ЛАПНУ предназначена для выбора УВ по принципу 2-ДО для 3 пусковых органов по условиям предотвращения нарушения статической устойчивости и для 14 пусковых органов по условиям сохранения динамической устойчивости параллельной работы генераторов Богучанской ГЭС в послеаварийных режимах. Структурно-функциональная схема комплекса ЛАПНУ Богучанской ГЭС аналогична схеме ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС.

Особенность системы ЛАПНУ Богучанской ГЭС заключается в том, что выбор уставок срабатывания всех пусковых органов даже тех, что обеспечивают сохранение статической устойчивости, должен выполняться только исходя из условия сохранения динамической устойчивости. Данное обстоятельство обосновывается проведенными на этапе выполнения рабочей документации расчетами статической и динамической устойчивости [4]. Данные расчеты показали, что пределы выдачи мощности станции по условию сохранения динамической устойчивости при всех авариях связанных с отключением сетевых элементов ниже, чем допустимые перетоки мощности в послеаварийных схемах, определенных с учетом 8%

запаса по статической устойчивости. Установленное устройство ФТКЗ на Богучанской ГЭС не контролирует место возникновения аварийного возмущения. Оно может фиксировать только факт возникновения КЗ, величину аварийного сброса мощности станции, а также в сети какого класса напряжения (500 или 220 кВ) произошло КЗ. ФТКЗ на Богучанской ГЭС выполняет лишь роль пускового устройства. Контроль доаварийного состояния схемы и режима и выбор УВ осуществляется устройством УВК АДВ.

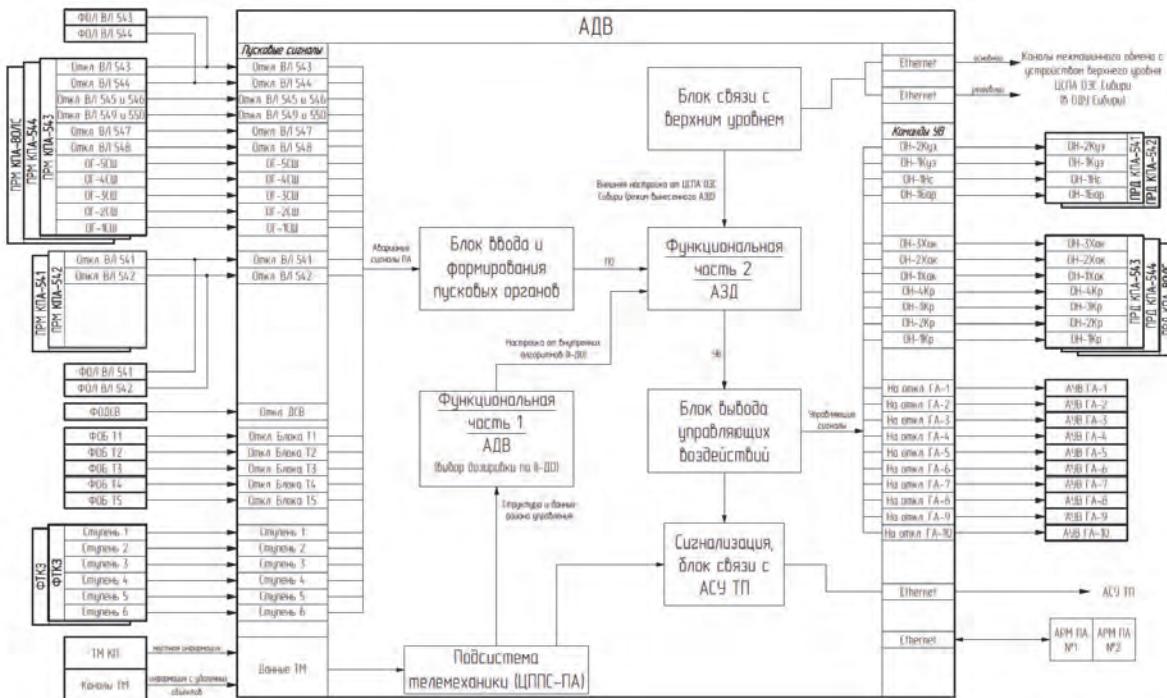


Рисунок 2 – Структурно-функциональная схема ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС

В качестве основного противоаварийного мероприятия в ЛАПНУ Богучанской ГЭС применяются шесть ступеней ОГ на станции, в качестве балансирующего управления используются также шесть ступеней отключения нагрузки в ОЭС Сибири. Выбор управления осуществляется в координатах суммарной активной мощности выдачи станции по ВЛ 500-220 кВ, отходящих от станции.

Для обмена информацией с ЦСПА верхнего уровня (в ОДУ Сибири, г. Кемерово) предусмотрены два канала на межмашинном уровне.

Примерно в эти же сроки на востоке ОЭС Сибири в Забайкальской энергосистеме был сформирован и включен в работу комплекс ЛАПНУ Харанорской ГРЭС.

Система ЛАПНУ Харанорской ГРЭС предназначена для выбора УВ по принципу 2-ДО для 16 пусковых органов по условиям предотвращения нарушения статической устойчивости и для 21 пускового органа по условиям сохранения динамической устойчивости параллельной работы генераторов Харанорской ГРЭС в послеаварийных режимах. В качестве основного противоаварийного мероприятия применяются ускорение действия УРОВ на выключателях 110–220 кВ станции, две ступени ОГ на станции, в качестве балансирующего управления используются 3 ступени отключения нагрузки: в энергоузле Читинской ТЭЦ (одна ступень) и в энергоузле Харанорской ГРЭС (две ступени). Выбор управления осуществляется в координатах суммарной активной мощности выдачи трех генераторов станции.

Основные выводы:

– Текущее положение в области системы противоаварийного управления в ОЭС Сибири сложилось на основании проекта «Разработка схемы развития системы противоаварийного управления ОЭС Сибири», выполненной по инициативе Системного оператора в 2003-2004 гг. Принятая в данной работе стратегия развития систем ПАУ в энергообъединении нашла свое подтверждение в реализации конкретных проектных решений. В настоящее время уже в течение ряда лет успешно функционируют ЛАПНУ с центрами дозировки на ПС 500 кВ Таврическая, ПС 1150 кВ Алтай, ПС 1150 кВ Итатская, ЛАПНУ на Богучанской ГЭС, Харанорской ГРЭС, ведутся монтажные и пусконаладочные работы по созданию ЛАПНУ ПС 500 кВ Камала, Саяно-Шушенская ГЭС, ПС 500 кВ Озерная, ПС 220 кВ Могоча, выполняются

проектные работы по созданию ЛАПНУ на связях 500 кВ Сибирь – Урал (ЛАПНУ ПС 500 кВ Восход), ВЛ 500 Томск – Парабель - Нижневартовская ГРЭС (ЛАПНУ ПС 500 кВ Томская), ЛАПНУ в сетях 220 кВ Алтайской, Новосибирской, Красноярской энергосистем, введен в промышленную эксплуатацию верхний уровень системы ПАУ в ОЭС Сибири с центром выбора дозировки управляющих воздействий по принципу 1-ДО в ОДУ Сибири (г. Кемерово).

– Система ПАУ ОЭС Сибири на обоих уровнях оснащена техническими средствами и программным обеспечением, разработанными на основании типовых требований. На сегодняшний день ЛАПНУ районов управления и ЦСПА в целом прошли, безотказную промышленную эксплуатацию в течение 4-10 лет.

– Применение унифицированных программно-технических средств позволяет повысить эффективность проектирования, внедрения и эксплуатации ЛАПНУ. Однако каждый район управления обладает своими особенностями, требующими своего учета при проектировании конкретного устройства.

– Опыт проектирования систем ПАУ в ОЭС Сибири показывает на необходимость различных подходов к выбору очередности отключения генераторов на конкретной станции, контроля текущего объема нагрузки, подключенного к системе САОН и распределение его по ступеням (адаптивный САОН), организации взаимодействия устройств ФТКЗ с УВК АДВ и т.д.

– Опыт проектирования и эксплуатации двухуровневой системы ПАУ в ОЭС Сибири уже на сегодняшний день требует создания третьего уровня управления с координирующей функцией работы региональных ЦСПА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Реконструкция ПС 1150 кВ Итатская. Замена оборудования комплекса централизованной противоаварийной автоматики (ЦПА) западной и центральной части ОЭС Сибири. Проектная документация. Структурные схемы устройств ПА, ССПДИ, задачи и принципы организации системы ПАУ с центром дозировки на ПС 1150 кВ Итатская / ИАЭС. -Инв. №ПД-ИТ/ 10-ПА-Т1. - Новосибирск, 2011.

2 Комплексная реконструкция ОРУ 500 кВ Саяно-Шушенской ГЭС. Проектная документация. Противоаварийная автоматика. Основные технические решения: в 3 кн. / ИАЭС. -Инв. №ЛГП-01/ 2011-Т2-ПА. -Новосибирск, 2011. -3 кн.

3 Строительство линии электропередачи от подстанции Камала-1 до строящейся Богучанской ГЭС через пос. Карабула. Проектная документация. Противоаварийная автоматика ВЛ 500 и 220 кВ. Т. 4. / Сибэнергосетьпроект, ИАЭС. -Инв. №7686-ПА. -Новосибирск, 2008.

4 Богучанская ГЭС. Проектирование, изготовление, поставка и наладка оборудования связи с энергосистемой (ПА, АРЧМ, ТМ, ВЧ-связи и ВОЛС). Рабочая документация. Противоаварийная автоматика. Общие технические решения. Таблицы настройки локальных устройств ПА. Таблицы настройки ЛАПНУ Богучанской ГЭС / ИАЭС. -Инв. №BGP041-01-ПА-01. - Новосибирск, 2012.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: противоаварийная автоматика, статическая и динамическая устойчивость, район управления, энергосистема

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ландман Аркадий Константинович, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «ИАЭС»
Попов Георгий Петрович, директор департамента ЗАО «ИАЭС»
Данилов Максим Владимирович, заведующий отделом ЗАО «ИАЭС»
Маковцев Виктор Александрович, заведующий сектором ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС

ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

В.Е. Жмурко, Ю.А. Порошкова, Н.В. Хозяинов

EXPERIENCE IN DESIGN OF EMERGENCY CONTROL SYSTEM AT CHEBOKSARY HPP
Institute ENERGOSETPROJECT
V.E. Zhmurko, J.A. Poroshkova, N.V. Khozyainov

This article summarizes the experience of the design and implementation of complex emergency control system at Cheboksary HPP using devices based on microprocessor technology.

Keywords: power system, emergency control

Обобщен опыт проектирования и особенности выполнения комплекса противоаварийной автоматики Чебоксарской ГЭС с использованием устройств на основе микропроцессорной техники.

Целью реконструкции комплекса противоаварийной автоматики (ПА) Чебоксарской ГЭС является разработка и обоснование принципиальных решений по модернизации морально и физически устаревших устройств ПА Чебоксарской ГЭС с использованием устройств на основе микропроцессорной техники.

Комплекс ПА Чебоксарской ГЭС предназначен для следующих целей:

- сохранения устойчивости транзита 500 кВ Костромская ГРЭС-Заинская ГРЭС (совместно централизованными комплексами ПА ПС 500 кВ Киндеры, Заинской ГРЭС, Жигулевской ГЭС), в том числе посредством реализации команд на отключение нагрузки (ОН) от комплексов ПА Заинской ГРЭС, Жигулевской ГЭС, реализации команд на автоматическую загрузку генераторов станции от комплекса ПА ПС Киндеры;
- обеспечения противоаварийного управления при нарушениях режима работы оборудования Чебоксарской ГЭС и прилегающей сети 110-220 кВ;
- ретрансляции аварийных сигналов и команд ПА к другим комплексам ПА.

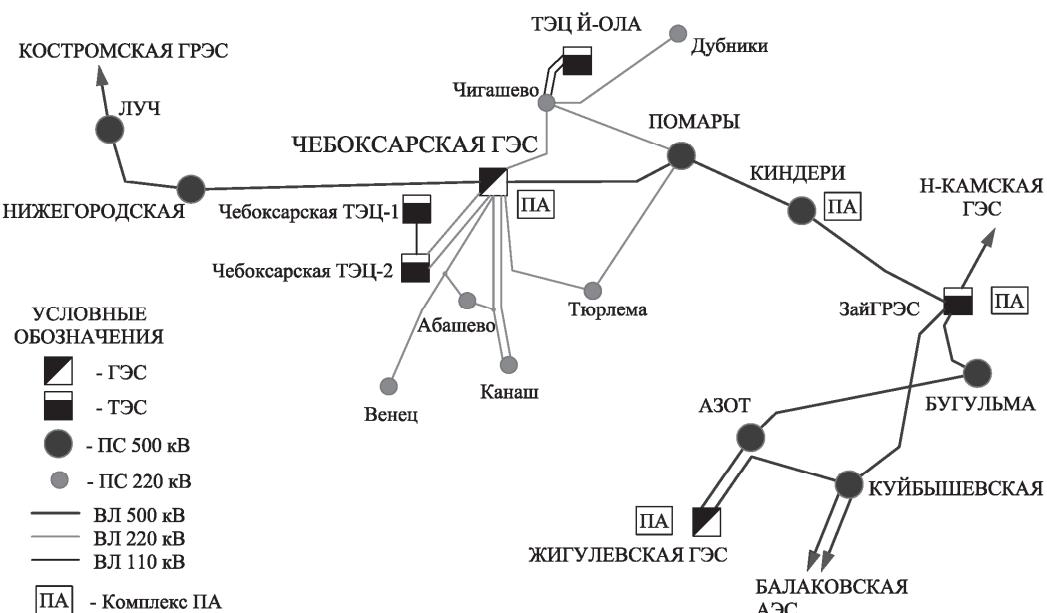


Рисунок 1 – Фрагмент электрической сети в районе Чебоксарской ГЭС

Данный комплекс состоит из совокупности следующих устройств ПА:

- АРОЛ, АРОДЛ – автоматической разгрузки при отключении одной или двух ВЛ 500 кВ;
- АРОШ 220 кВ – автоматической разгрузки при отключении систем шин 220 кВ;
- АОПО – автоматического ограничения перегрузки оборудования;
- АОСЧ – автоматического ограничения снижения частоты;
- АОПЧ – автоматического ограничения повышения частоты;
- АЛАР – автоматической ликвидации асинхронного режима;
- АОПН – автоматического ограничения повышения напряжения;
- КПР – контроля предшествующего режима;
- ФОЛ – фиксации отключения линий;
- ФОТ – фиксации отключения автотрансформаторов;
- ФОВ – фиксации отключения выключателей;
- УПАСК – передачи аварийных сигналов и команд;
- ТМ – телемеханики;
- АРС – автоматической разгрузки станции;
- АЗГ – автоматической загрузки генераторов;
- ЛАПНУ – локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости.

Расположение вышеуказанных устройств ПА, организацию передачи аварийных сигналов и команд, а также места реализации управляющих воздействий отражает структурная схема ПА. При ее разработке были учтены современные требования [1, 2] и специфика микропроцессорной техники, а также возможность развития комплекса ПА в дальнейшем. Схема размещения устройств ПА представлена на рисунке 2.

Основные особенности выполнения комплекса ПА Чебоксарской ГЭС. В работе предусмотрено выполнение всего комплекса ПА станции дублированным, что в целом повышает надежность работоспособности системы и в ряде случаев упрощает его обслуживание, например, вывод отдельных устройств и шкафов ПА на профилактическое обслуживание может не согласовываться с выводом в ремонт соответствующего основного первичного оборудования станции. Также отказ одного из дублированных устройств ПА не потребует от оперативного персонала принятия каких-либо мер, например, в части ограничения выдачи мощности станции и т.п.

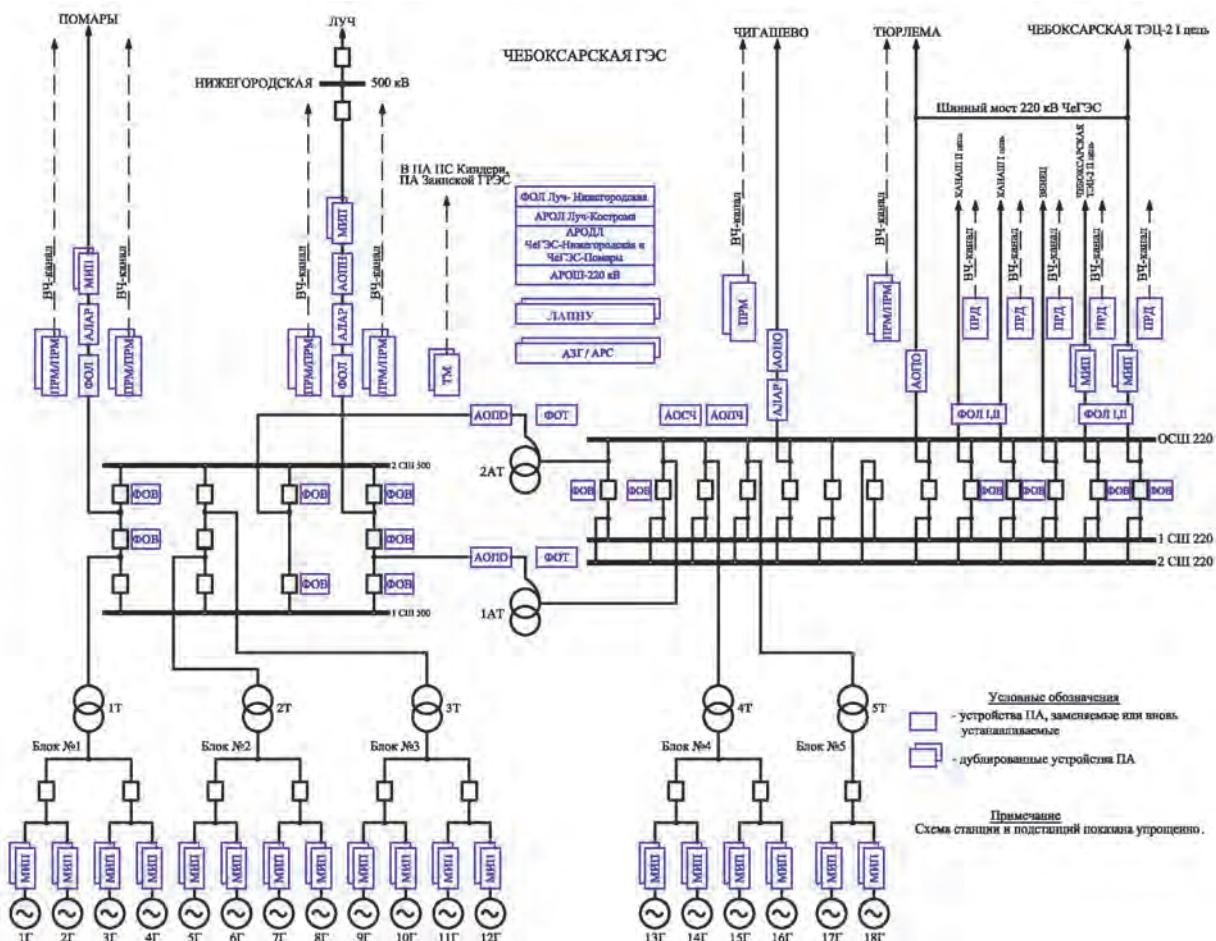


Рисунок 2 – Схема размещения устройств ПА Чебоксарской ГЭС

В соответствии с техническим заданием комплекс ПА Чебоксарской ГЭС был условно разделен на станционный, к которому были отнесены устройства ЛАПНУ, АЗГ, АРС, АОСЧ и др. и линейный – ФОЛ, АЛАР, АОПН, АОПО, УПАСК.

На первом этапе работы должна была выполняться рабочая документация в части комплекса станционных устройств ПА станции с последующей его заменой на новое оборудование, на втором этапе – в части линейных устройств ПА. Данное выделение этапности работ по реализации системы ПА было продиктовано значительным объемом заменяемого оборудования.

При анализе такого подхода в рамках разработки рабочей документации выявились особенности, заключающиеся в следующем. В настоящее время существующие линейные устройства воздействуют на станционный комплекс, не являющийся дублированным. В случае же первоначальной замены станционного комплекса на дублированный микропроцессорный на этом же этапе потребовалась бы значительная доработка и модернизация всех существующих (впоследствии демонтируемых) линейных устройств ПА. Кроме того, потребовалось бы проведение монтажных и пуско-наладочных работ в части существующих линейных устройств ПА.

С целью оптимизации временных и финансовых затрат станции на модернизацию системы ПА, Институтом была предложена следующая этапность выполнения реконструкции: замена линейных устройств ПА с организацией их взаимодействия с существующими стан-

ционными устройствами ПА (ЛАПНУ, АЗГ, АРС); замена станционных устройств ЛАПНУ, АЗГ, АРС с вводом их в опытную эксплуатацию с действием на сигнал; ввод в работу новых станционных устройств (ЛАПНУ, АЗГ, АРС) по постоянной схеме по истечении срока опытной эксплуатации и демонтаж существующих станционных устройств ПА.

– Станционный комплекс ПА реализован на базе шкафов, выполняющих функции автоматической дозировки управляющих воздействий и автоматической загрузки/разгрузки станции. На Чебоксарской ГЭС устройство ЛАПНУ выполняет функции дозировки УВ с целью предотвращения нарушения статической устойчивости послеаварийного режима при получении сигналов об аварийном возмущении от пусковых устройств. Устройства АЗГ, АРС предназначены для формирования выходных сигналов загрузки/разгрузки станции при получении в аварийном режиме управляющих воздействий от внешних устройств ПА.

Как отмечалось выше, одно из предложений Института заключается в организации первоначального ввода станционного комплекса ПА в опытную эксплуатацию. Поскольку, несмотря на то, что оборудование станционного комплекса ПА (ЛАПНУ, АЗГ/АРС) имеет аттестацию соответствующих ведомств, многие его настройки и особенности реализации алгоритмов зависят от конкретного объекта, и, соответственно, правильная работа комплекса должна быть подтверждена его эксплуатацией с действием только на сигнал. Ввод же в работу новых станционных устройств (ЛАПНУ, АЗГ, АРС) по постоянной схеме может быть осуществлен при наличии положительного опыта их эксплуатации.

Было принято решение о разнесении функций ЛАПНУ и АЗГ/АРС в различные шкафы, размещаемые соответственно в ОПУ РЩ 500/220 кВ и машинном зале станции, на расстоянии порядка 1,5 км. Данное решение, несмотря на более высокую стоимость реализации по сравнению, например с организацией совмещения указанных функций в одном шкафу, позволило значительно сократить длину кабельных связей между станционными устройствами и внешними устройствами, с которыми они взаимодействуют (пусковыми и исполнительными), что в целом приводит к повышению надежности комплекса. Здесь следует отметить, что пусковыми и исполнительными устройствами для комплекса ЛАПНУ являются в основном линейные устройства ПА 500 кВ и 220 кВ, установленные в ОПУ РЩ 500/220 кВ, а устройство АЗГ/АРС взаимосвязано с автоматическими системами и устройствами гидроагрегатов, расположенными в машинном зале станции.

Кроме того, предусмотренное решение приводит к значительному упрощению каждого шкафа в отдельности, как в части программного обеспечения, так и в части технического исполнения (количества промежуточных реле, оперативных переключателей, рядов электрических зажимов).

Альтернативным решением по сокращению кабельных связей при совмещении функций станционных устройств могла бы быть организация каналов цифровой связи для передачи аварийных сигналов и команд между станционным устройством и внешними устройствами ПА, то есть между помещением ОПУ РЩ 500 кВ и машинным залом станции. Но такое решение, в том числе из-за необходимости дополнительно устанавливаемых дублированных устройств УПАСК с организацией каналов передачи значительного объема аварийной информации не нашло применение на Чебоксарской ГЭС.

– Станционный комплекс тесно связан с другими автоматическими системами станции. Так одной из систем, реализованной на Чебоксарской ГЭС, является групповое регулирование активной и реактивной мощности (ГРАРМ), выполняющее функции автоматического ведения режима гидроагрегатов.

При разработке организации взаимодействия комплекса АЗГ с другими автоматическими системами станции первоначально рассматривалось два основных варианта (рисунок 3): реализация действия АЗГ на загрузку станции непосредственно через систему автоматического управления гидроагрегатами (САУ ГА); реализация действия ПА на загрузку станции через систему ГРАРМ, при условии, что ГРАРМ находится в работе.

В первом случае, несмотря на повышение надёжности работы ПА за счет «прямого действия» АЗГ на САУ ГА (исключая ГРАРМ как «промежуточное звено») принципы реализации загрузки станции будут зависеть от объема исходной информации о работе гидроагрегатов, подводимой к устройству АЗГ (данный объем информации в АЗГ заведомо ниже, чем объем, имеющийся в ГРАРМ). Так в данном случае система ПА не могла бы автоматически учесть ряд достаточно важных параметров, например, нерекомендуемые зоны работы агрегатов, зоны оптимальной работы, минимальных и максимальных ограничений мощности каждого агрегата и др.

Во втором варианте устройство автоматической загрузки станции действует на пуск гидроагрегатов через САУ ГА и на приращение уставки ГРАРМ, вследствие чего ГРАРМ в зависимости от предшествующего режима и в соответствии с заложенными алгоритмами посредством САУ ГА загружает гидроагрегаты станции до требуемого значения мощности. В случае если по каким-либо причинам ГРАРМ выведен из работы, АЗГ действует на загрузку станции напрямую через САУ ГА, исходя из имеющейся в АЗГ доаварийной информации и технических возможностей устройства АЗГ.

По итогам рассмотрения технических решений был реализован третий вариант (рисунок 3), заключающийся в одновременном воздействии системы ПА и на ГРАРМ, и на пуск генераторов посредством САУ ГА. Действие на САУ ГА обеспечивает только включение заданного уставкой числа гидроагрегатов с их автоматической загрузкой до заданной величины без дальнейшей возможности изменения мощности от АЗГ посредством САУ ГА. Включенные от АЗГ агрегаты автоматически вводятся в групповое управление ГРАРМ, при этом управляющие воздействия о срабатывании АЗГ (для каждой ступени) передаются в ГРАРМ, и соответственно к задатчику плановой мощности добавляется значение мощности, равное уставкам АЗГ.

Таким образом, действие на САУ ГА обеспечивает включение минимально требуемого количества гидроагрегатов и независимость системы ПА от других автоматических систем регулирования станции, а одновременное параллельное действие на ГРАРМ (при условии работы ГРАРМ) обеспечивает подхват включенных в сеть гидроагрегатов в работу системы ГРАРМ и соответственно точность и оптимальность противоаварийного управления.

Выходы: Реконструкция комплекса ПА Чебоксарской ГЭС охватывает весь известный перечень систем ПА за исключением системы автоматического ограничения снижения напряжения (АОСН), что предопределяет возможность получения исключительного опыта разработки проектной и рабочей документации.

В рамках доклада не представляется возможным в полном объеме представить особенности всего проектируемого комплекса ПА Чебоксарской ГЭС, включая линейные устройства ПА, комплекс сбора доаварийной информации и другие системы ПА. В связи с этим освещен только ряд основных особенностей проектирования и технической реализации станционного комплекса ПА Чебоксарской ГЭС:

- показан положительный опыт возможности внесения изменений в порядок реконструкции с целью оптимизации временных и финансовых затрат на реализацию комплекса ПА;
- приведено описание функциональной части алгоритма автоматической загрузки станции, разработанной Институтом. Разработанную функциональную схему АЗГ/АРС, позволяющую реализовать различные варианты исполнения устройства, в последующих работах с незначительной проработкой допустимо принимать в качестве «базового решения», принципы которого уже согласованы с рядом заинтересованных сторон.

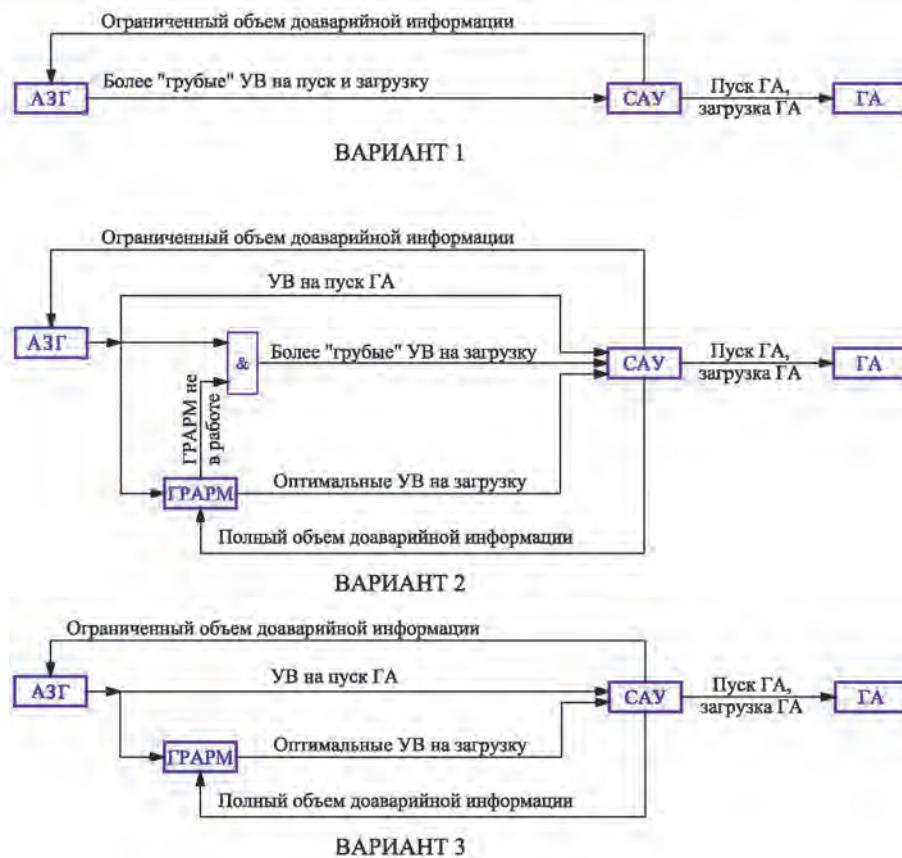


Рисунок 3 – Варианты взаимодействия АЗГ и системы ГРАРМ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 ГОСТ Р 55105-2012. Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Нормы и требования.

2 РД 34.35.113. Руководящие указания по противоаварийной автоматике энергосистем (основные положения). -1986.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосистема, противоаварийная автоматика

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Жмурко Виталий Евгеньевич, начальник департамента ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Порошкова Юлия Алексеевна, ведущий специалист ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Хозяинов Николай Васильевич, начальник отдела ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105318, г.Москва, ул.Ткацкая, 1, ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

РЕЗОНАНСНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМИ РЕАКТОРАМИ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.Н. Федосов, С.В. Черченко

RESONANT PROCESSES ON EXTRA-HIGH VOLTAGE TRANSMISSION LINES WITH LINE REACTOR AND SPECIALIZED OVERVOLTAGE PROTECTION

Institute of power system automation

A.N. Fedosov, S.V. Cherchenko

At application of the shunt reactors to compensate the capacitive component current of the extra-high voltage transmission lines, the resonant circuits are created in various modes of operation of the line. The negative influence of these circuits is concluded in a significant overvoltage and inefficient work of the standard overvoltage protection and breaker failure protection. The article includes the following topics: positive and negative side of the full compensation capacitance line, resonance phenomena, the cases of their appearance, methods of optimal liquidation of the overvoltage and performing a breaker failure protection.

Keywords: resonance overvoltage, overvoltage protection

При применении шунтирующих реакторов для компенсации емкостной составляющей на ЛЭП сверх высокого напряжения создаются резонансные контуры в различных режимах работы ВЛ. Негативное влияние данных контуров заключается в значительном повышении напряжения и не эффективной работе стандартных устройств АОПН и УРОВ АОПН. В статье рассмотрены ряд вопросов таких как: положительные и отрицательные стороны полной компенсации емкости линии, резонансные явления, случаи их появления, методы оптимальной ликвидации повышенных уровней напряжения и выполнение резервирования отказавшего выключателя.

Шунтирующие реакторы используются в сетях 110-750 кВ в качестве средства компенсации реактивной мощности и участвуют в регулировании напряжения в сети. Шунтирующие реакторы устанавливаются непосредственно вблизи источников реактивной мощности – на линиях или на шинах распределительных устройств энергообъектов, к которым присоединены протяженные линии. Помимо компенсации реактивной мощности, линейные шунтирующие реакторы способствуют снижению внутренних перенапряжений при коммутациях на линии и гашению дуги в паузе ОАПВ. Степень компенсации реактивной мощности в зависимости от загрузки линии при проектировании принимается в пределах 40-120% [1].

Описание резонансных режимов. Можно отметить положительные и отрицательные моменты работы линии со степенью компенсации емкостных токов близкой к резонансной:

Положительные моменты:

– коммутации линии происходит при токах, близких к нулю, а не при токах, имеющих чисто реактивный характер. Данное обстоятельство значительно уменьшает влияние горения дуги и увеличивает ресурс выключателя;

– в режиме холостого хода линии, напряжение одинаково в начале и конце линии.

Отрицательные моменты:

– в неполнофазных режимах возникают опасные перенапряжения;

– при отказе выключателя не работоспособны УРОВ (так как величина тока близка к нулю);

– так же не работоспособны и традиционные методы реализованные в современных устройствах АОПН (например, невозможно измерить направление реактивной мощности отключенной фазы, а кроме того в неполнофазном режиме может быть блокирующее направление мощности. Вследствие этого вопрос селективности не может быть однозначно решен);

– возможно самопроизвольное включение выключателя даже на полностью отключенной линии (в том числе в резонансном режиме при меньшей частоте при недокомпенсация емкостной составляющей).

В данной статье более подробно остановимся на резонансных процессах в неполнофазных режимах.

Резонансные перенапряжения возникают при неблагоприятных сочетаниях параметров схемы электропередачи и ее режима. Резонансные перенапряжения могут существовать, пока действие автоматики или персонала не приведет к изменению схемы и режима [2].

Параметры электропередачи всегда таковы, что в симметричных режимах резонанс не возникает из-за сравнительно малой величины сопротивления системы. Однако в неполнофазных режимах работы этой же электропередачи не исключена возможность появления резонансных перенапряжений. При этом возникает повышение напряжения на отключенных с двух сторон фазах линии, как в квазистационарных режимах работы, так и в процессе осуществления коммутаций. Условием возникновения резонансных перенапряжений в неполнофазном режиме является наличие хотя бы одной фазы, подключенной к источнику питания, и отсутствие устойчивого короткого замыкания на отключенных фазах ВЛ. Резонансные перенапряжения в неполнофазных режимах возникают только в односторонне питаемых электропередачах, за исключением режима успешного ОАПВ. Режимами, при которых возможно возникновение резонансных перенапряжений, являются:

– двухсторонне отключение одной фазы от релейной защиты в цикле ОАПВ после погасания дуги короткого замыкания (в бестоковой паузе ОАПВ) (рисунок 1а);

– отказ одной фазы выключателя линии при оперативном снятии напряжения с линии (рисунок 1б);

– отказ одной фазы выключателя линии при оперативной постановке под напряжение ВЛ (рисунок 1в);

– самопроизвольное включение одной фазы выключателя линии из-за механических повреждений привода (рисунок 1г).

Одновременный отказ двух фаз выключателя можно считать маловероятным.

Для линий 330-750 кВ значения резонансной степени компенсации изменяется в зависимости от вида несимметрии в диапазоне 70-90% [1]. Эти значения находятся в пределах реальных значений степени компенсации, используемых в нормальных режимах работы электропередач высших классов напряжения. Поэтому неполнофазные режимы таких электропередач представляют опасность для изоляции линии и оборудования, в том числе для изоляции между разомкнутых контактов выключателей и разъединителей, а следовательно при их осуществлении необходимо принимать дополнительные меры схемного характера для ликвидации резонансных условий, к которым в первую очередь относится отключение части реакторов. При этом опасные повышения напряжения на двухсторонне отключенной фазе возникают не только при степени компенсации равной резонансной, но и в

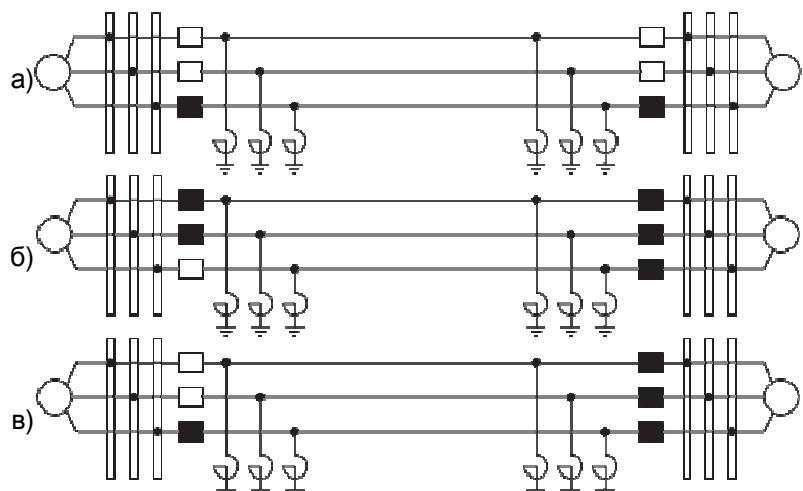


Рисунок 1 – Схемы электропередачи в неполнофазных режимах: а-цикл ОАПВ; б-отказ одной фазы выключателя линии при оперативном снятии напряжения с линии; в-отказ одной фазы выключателя линии при оперативной постановке под напряжение ВЛ

некотором достаточно широком диапазоне значений. Так при резонансной степени компенсации 85% (при включенных двух фазах) опасными с точки зрения возникновения перенапряжений остаются электропередачи со степенью компенсации 75-95%.

При расчетах по упрощенным моделям как видно из графиков напряжение при резонансных перенапряжениях в теории стремится к бесконечности. Однако коронирование проводов двухсторонне отключенных фаз линии, активные сопротивления проводов линии и шунтирующих реакторов приводят к резкому ограничению напряжений на этих фазах, которые находятся в диапазоне $(1,40-1,55) U_\phi$ в зависимости от напряжения начала короны [1]. Учет коронирования отключенных фаз полностью ликвидирует узкие резонансные области включенных фаз.

В ориентировочных расчетах при оценки максимальных напряжений на отключенной фазе с учетом коронирования [1]

$$U_m = 0,13U_{\phi m} + U_{h.k.}$$

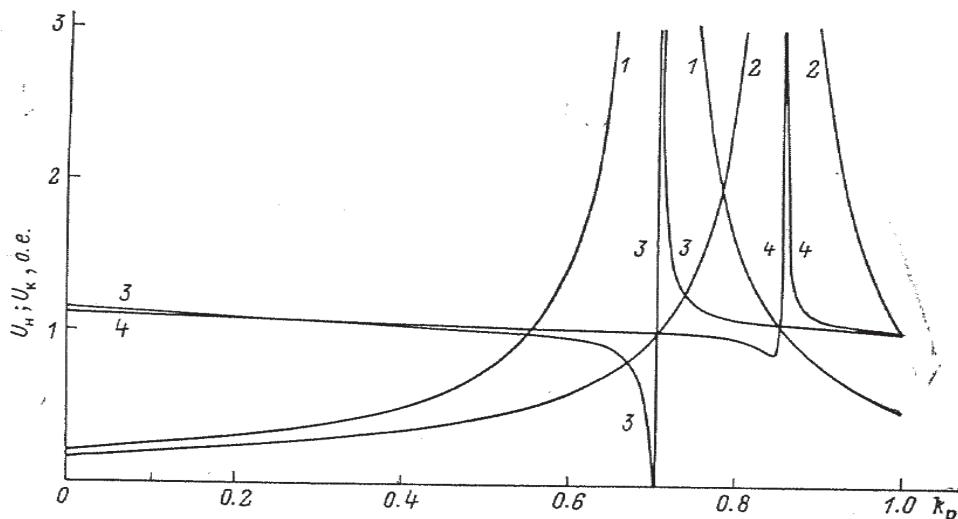


Рисунок 2 – Зависимости модулей напряжения от степени компенсации емкости линии [1]

Характер зависимости напряжений на отключенной фазе от степени компенсации в случае ОАПВ подобен аналогичной зависимости напряжения на отключенной фазе при одностороннем питании двух других фаз (рисунок 2).

Следует иметь в виду, что напряжение на отключенной фазе при резонансных перенапряжениях находится в противофазе с напряжением на шинах. В результате чего даже при неопасном уровне напряжения «фаза-земля» на отключенной фазе разность напряжений на отключенному полюсе линейного выключателя может иметь недопустимую величину для изоляции выключателя, что может привести к самопроизвольному электрическому включению выключателя в результате пробоя изоляции его полюса.

В энергосистеме Сибири находятся порядка пяти воздушных линий 500 кВ, на которых существуют проблемы, вызванные резонансными явлениями.

Далее рассматривается опыт эксплуатации линии ВЛ-1106 ПС 500 кВ Итатская-ПС 500 кВ Алтай (рисунок 3), по которому можно сделать выводы о проблемах, вызванных резонансными процессами. Эта линия с двух сторон оборудована устройствами РАС, что позволяет проводить качественный анализ, опираясь на осциллограммы, полученные в ходе

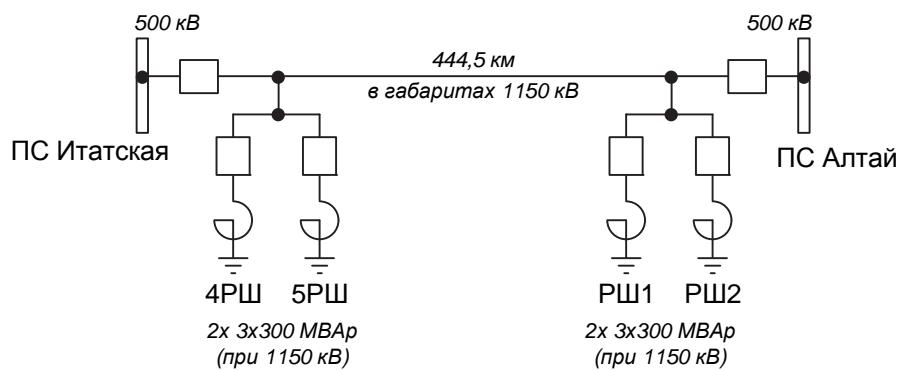


Рисунок 3 – Однолинейная схема линии ВЛ-1106 ПС Итатская-ПС Алтай

реальных процессов.

Воздушная линия ВЛ-1106 построена в габаритах 1150 кВ, но эксплуатируется под напряжением 500 кВ. Длина линии 444,5 км. К линии подключаются четыре шунтирующих реактора (по два с каждой стороны) номинальной мощностью 3×300 МВАр при 1150 кВ каждый.

Схема замещения для приближенных расчетов резонансных частот в неполнофазных режимах приведена на рисунке 4.

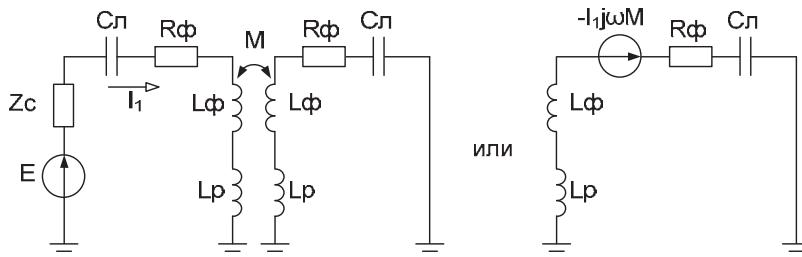


Рисунок 4 – Упрощенная схема замещения для приближенных расчетов резонансных частот в неполнофазном режиме: $C_{\text{л}} = 6,49 \text{ мкФ}$; $L_{\text{п}} = 4,78 \text{ Гн}$; $L_{\phi} = 0,0223 \text{ Гн}$; $R_{\phi} = 3,3 \Omega$

Резонансная частота контура

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{L_k C_k}},$$

где L_k – суммарная индуктивность контура;

C_k – суммарная емкость контура.

В зависимости от числа подключенных к линии реакторов резонансные частоты: при 2-х подключенных реакторах $f_p = 40 \text{ Гц}$; при 3-х подключенных реакторах $f_p = 49,3 \text{ Гц}$; при 4-х подключенных реакторах $f_p = 57 \text{ Гц}$.

В процессе эксплуатации на линии ВЛ-1106 в результате резонансных перенапряжений в неполнофазных режимах были зарегистрированы:

- ложное действие резервных защит шунтирующих реакторов линии, реагирующих на ток нулевой последовательности (как при 2, так и при 4 реакторах на линии);
- пробой искрового промежутка линейного выключателя в отключенном положении, и как следствие подача через дугу напряжения на фазу линии;
- возникновение в цикле ОАПВ перенапряжений, опасных для оборудования (ОПН, трансформаторов напряжения).

Для примера рассмотрим резонансные перенапряжения, возникшие на линии при самопроизвольном включении фазы «В» линейного выключателя ПС Итатская в результате механической неисправности (повреждение траверсы выключателя). До момента аварии линия находилась со снятым напряжением, то есть двухсторонне отключена (без заземления). К линии были подключены четыре шунтирующих реактора.

В результате самопроизвольного включения фазы «В», отключенной ВЛ, линейного выключателя возник неполнофазный режим. На отключенных фазах наблюдается биение напряжения с максимальным действующим фазным значением $U_{\phi A} = 399,5 \text{ кВ}$ и отклонением частоты до 55 Гц. При четырех подключенных к линии реакторах частоты 50-55 Гц не являются резонансными, поэтому напряжения на отключенных фазах имеют затухающий характер. И как следствие затухающий характер имеют токи в фазах «А» и «С» линейных шунтирующих реакторов, которые пропорциональны напряжению на фазах линии. В результате чего после затухания напряжения на отключенных фазах линии ток нулевой последовательности шунтирующего реактора 5ШР за счет тока в фазе «В» достиг значения срабатывания второй ступени ТЗНП реактора, что привело к отключению 5ШР от защиты и как следствие к изменению индуктивности контура. По расчетам резонансная частота контура при трех подключенных реакторах равна приблизительно 49,3 Гц. На фазах «А» и «С» возникают резонансные перенапряжения с амплитудой напряжения «фаза-земля» до 700 кВ (действующее значение 500 кВ). Процесс протекает на частоте $\approx 49,9 \text{ Гц}$. Перенапряжение на фазе «А» привело к разрушению ОПН и закорачиванию фазы на землю. Мгновенное значение напряжения на отключенном полюсе фазы «С» линейного выключателя в ходе процесса достига-

ет 1118 кВ (относительно напряжения фазы «С» линии и шин (напряжение шин взято с ТН ВЛ-518 включенной под нагрузку).

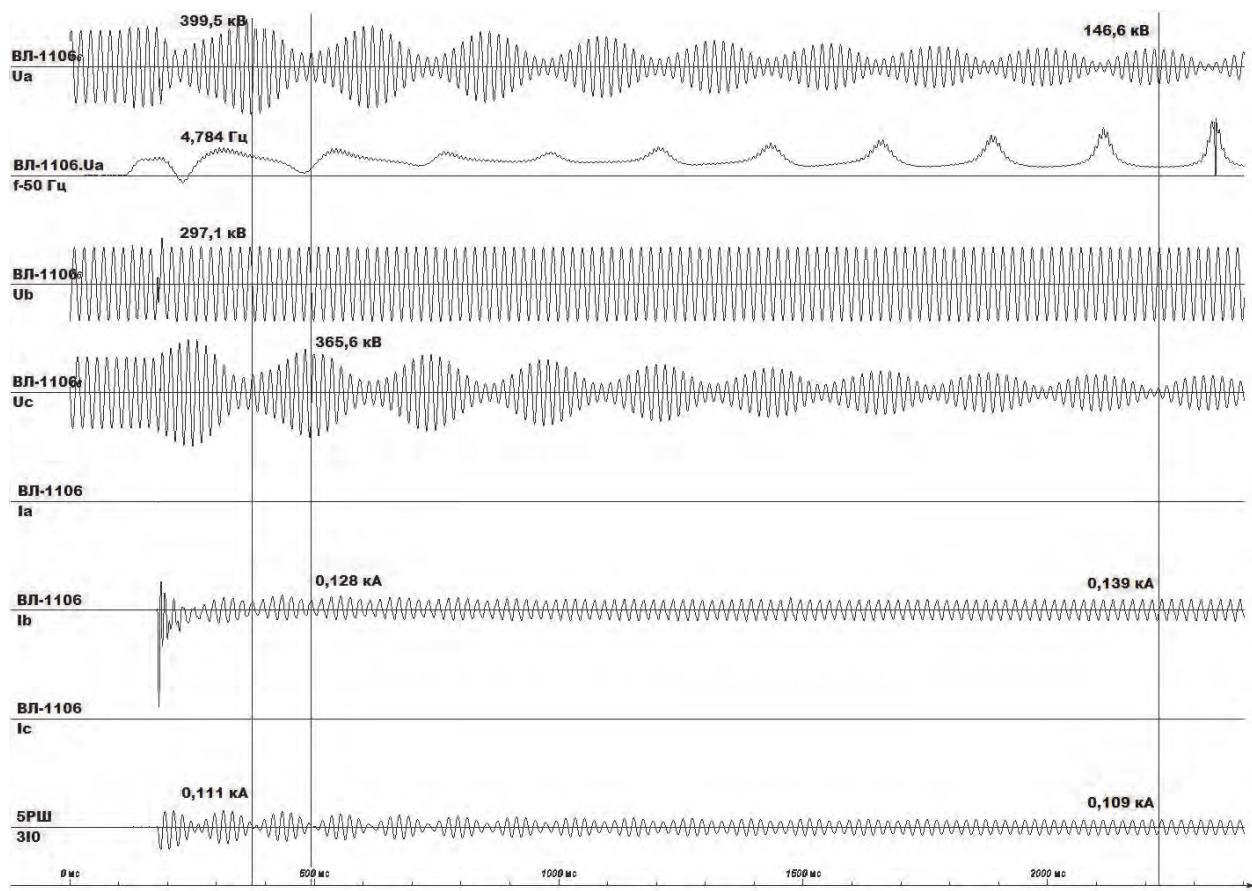


Рисунок 5 – Осциллографмы напряжений и токов ВЛ-1106 при самопроизвольном включении фазы «В» линейного выключателя

Резонансные перенапряжения могут существовать до тех пор, пока действие автоматики или персонала не приведет к изменению схемы.

Допустимыми являются повышения напряжения при длительности воздействия 1200 с (что соответствует минимально необходимому времени на действие оперативного персонала) 1,15 в долях от наибольшего рабочего напряжения и 20 с (что соответствует необходимому времени на действие устройств ПА) 1,35 для трансформаторов напряжения и ОПН 500 кВ [3].

Напряжения при резонансных явлениях может существенно превышать допустимый уровень, что не позволяет ограничиться действиями оперативного персонала для ликвидации данного отклонения. Предотвращение возникнове-

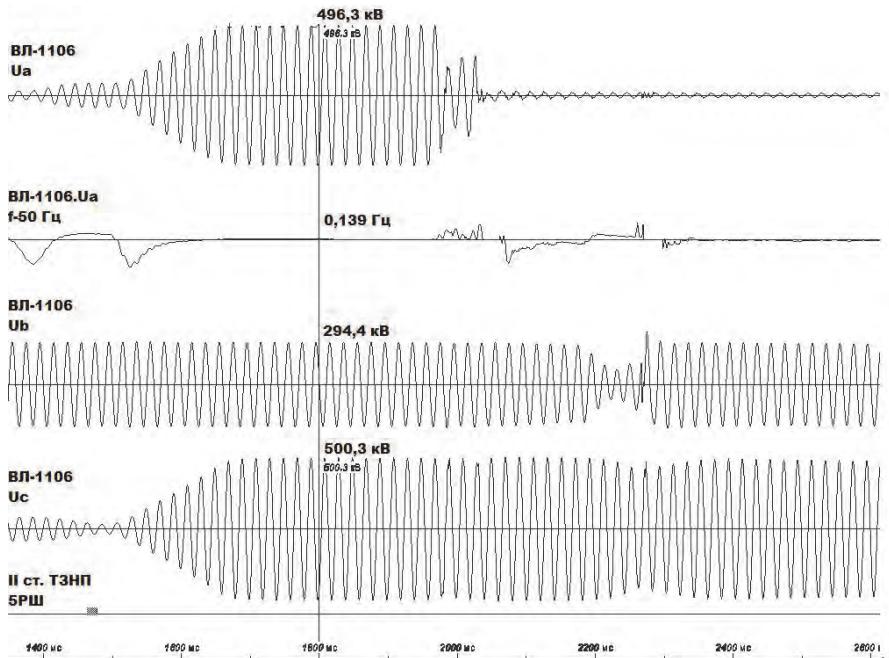


Рисунок 6 – Осциллографмы напряжений ВЛ-1106 после отключения 5РШ

ния перенапряжений путем упреждающего включения/отключения линейных шунтирующих реакторов при действии релейной защиты линии является необходимой, но не достаточной мерой, поскольку не охватывает все возможные варианты возникновения несимметричных режимов (например, отказ фазы выключателя при оперативном отключении).

Устройства АОПН и УРОВ АОПН, выполненные по классическому принципу (то есть по типовым решениям 1980-х гг.), не способны надежно функционировать при резонансных перенапряжениях и ликвидировать их. Современные микропроцессорные устройства АОПН зачастую повторяют принцип их работы, несмотря на то, что имеют существенно большие возможности по сравнению с электромеханическими устройствами.

АОПН, выполненная по типовой схеме, не может обеспечить правильную работу при резонансных перенапряжениях по следующим причинам:

- для селективного действия АОПН выполняется контроль стока реактивной мощности линии. В неполнофазных режимах перенапряжения возникают на отключенных фазах, при этом ток через отключенную фазу линейного выключателя отсутствует, а ток линии в контуре «шунтирующий реактор – емкость линии» при полной компенсации (то есть в самом опасном режиме с точки зрения возникновения резонансных перенапряжений) имеет активный характер. Таким образом, если АОПН включается на сумму токов выключателей, то замеряемая реактивная мощность в отключенной фазе будет равна нулю. Эти обстоятельства полностью исключают селективную работу АОПН без применения дополнительных контролей.

- работа АОПН при резонансных перенапряжениях в неполнофазных режимах и цикле ОАПВ по алгоритму с фиксацией отключенной стороны с действием на телеотключение линии с противоположной стороны, нельзя считать правильной. При перенапряжении в цикле ОАПВ от АОПН произойдет трехфазное отключение линии с противоположной стороны, срыв цикла ОАПВ и разрыв транзита. При перенапряжениях в прочих неполнофазных режимах телеотключение от АОПН не будет иметь никакого эффекта, так как с противоположной стороны линия уже отключена.

- УРОВ АОПН не способен функционировать при полной компенсации емкости линии, так как ток, протекающий по включенной фазе выключателя, стремится к нулю, что не позволяет обеспечить срабатывание избирательного органа.

Наиболее простыми способами изменить схему, чтобы предотвратить или ликвидировать резонансное перенапряжение, являются отключение или включение линейного шунтирующего реактора, что приведет к расстройке резонансного контура.

По возможности расстройка резонансного контура должна быть произведена таким образом, чтобы резонансная частота стала выше номинальной 50 Гц. Это возможно путем включения шунтирующего реактора. При отключении реактора во время переходного процес-

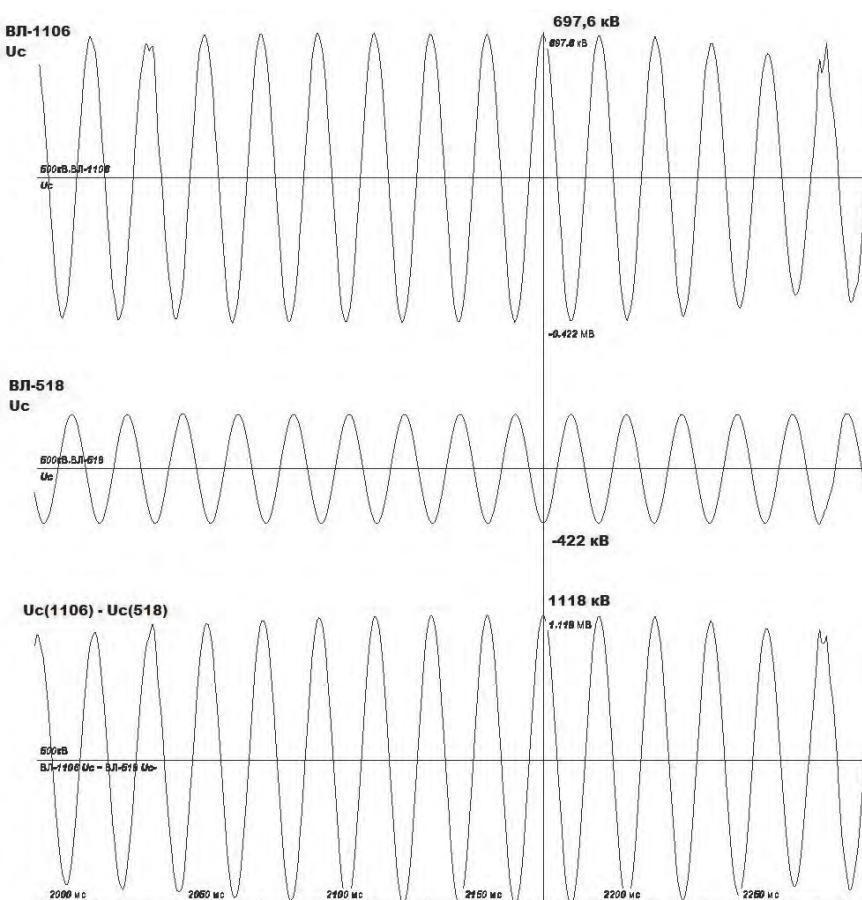


Рисунок 7 – Осциллограммы напряжений фаз «С» ВЛ-1106, ВЛ-518 и напряжения на полюсе фазы «С» линейного выключателя. Величина напряжения указана для мгновенных значений

са в контуре будет еще один резонансный режим при меньшей частоте сопровождающейся также повышением напряжения. Однако не всегда возможно включить реактор, так как реактор может быть в ремонте или отключен своей релейной защитой, поэтому должно быть предусмотрено резервное действие на отключение реактора, линии или отказавшего выключателя. Очевидна необходимость устройства для коммутации линейного шунтирующего реактора как упреждающая мера, если заранее известно, что возникающий режим приведет к появлению резонансных перенапряжений, например, при действии релейной защиты линии на однофазное отключение (цикл ОАПВ) и было способно работать при резонансных перенапряжениях в неучтенных режимах, как в рассматриваемом выше для ВЛ-1106.

Работа АОПН при резонансных перенапряжениях. Традиционный алгоритм работы АОПН сохраняется в полном объеме. Дополнительно фиксируется перенапряжение (в том числе резонансное) в неполнофазном режиме, если со стороны установки комплекта АОПН имеется хотя бы одна включенная фаза, работающая в консольном режиме, а на отключенной фазе наблюдается повышенное напряжение. Достаточном признаком включенной фазы может быть равенство напряжений на одноименной фазе шины и линии. Контроль напряжений на шинах и линии для определения положения выключателей фазы позволяет исключить отказ АОПН в неполнофазных режимах, вызванных повреждениями в механизме выключателя, например, при самопроизвольном включении фазы выключателя, а также является достаточным условием для определения отключенного состояния ВЛ в стандартных режимах.

В отличие от работы АОПН по алгоритму с фиксацией отключенной стороны с действием последовательно на телевключение шунтирующего реактора (что не всегда предусмотрено) и телевключение линии. При выявлении перенапряжения по предлагаемому принципу АОПН должен действовать на алгоритм изменения состояния реактора на своей стороне ВЛ или на противоположной по средствам передачи одной команды ПА и в крайнем случае на отключение ВЛ. При фиксации цикла ОАПВ от релейной защиты линии АОПН при перенапряжении на отключенной фазе действия АОПН должны быть аналогичными.

Работа УРОВ АОПН при резонансных перенапряжениях. Пуск УРОВ АОПН выполняется по традиционному принципу: при действии АОПН на отключение линии со стороны установки устройства или приеме команды «Телеотключение от АОПН» с противоположной стороны линии. В нескомпенсированном или перекомпенсированном контуре, после действия алгоритма изменения состояния реакторов, через отказавшую фазу выключателя протекает ток, по которому определяется, какой из линейных выключателей отказал. Структурная схема АОПН представлена на рисунке 8.

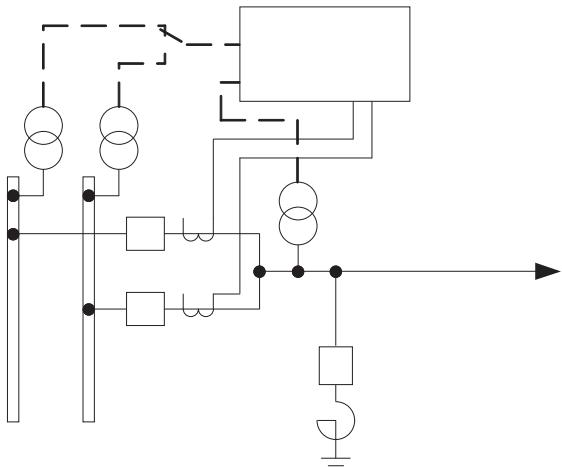


Рисунок 8 – Структурная схема подключения измерительных цепей тока и напряжения устройств АОПН и УРОВ АОПН

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Перенапряжения и защита от них в воздушных и кабельных электропередачах высокого напряжения / М.В. Костенко, К.П. Кадомская, М.Л. Левинштейн, П.А. Ефремов. -Л.: Наука, 1988. -302 с.
- 2 РД 153-34.3-35.125-99. Руководство по защите электрических сетей 6 -1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений. -СПб., 1999.
- 3 СО 153-34.20.501-2003. Правила технической эксплуатации электрических станций и сетей Российской Федерации. - 2003.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: резонансные перенапряжения, защита от перенапряжения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Федосов Алексей Николаевич, главный специалист ЗАО «ИАЭС»

Черченко Сергей Владимирович, главный специалист ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УЧЕТОМ НАПОРА НЕТТО

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Г.В. Глазырин, Н.Н. Твердохлебов

OPTIMAL DIVIDING OF ACTIVE POWER BETWEEN UNITS ON HYDROPOWER PLANT TAKING INTO ACCOUNT THE LOSSES OF HEAD IN THE TRASH SCREENS

Institute of power system automation
G.V. Glazyrin, N.N. Tverdokhlebov

This paper addresses the issue of power mode optimization of hydropower units taking into account the losses of head in the trash screens. The criteria and the objective function of optimization are defined. The actual power production limitations are revealed. The method of determining the net head in relation to the flow of water through the hydroturbine is specified. The algorithm of determining the operating characteristics with the net head is derived. The basic requirements for a method of optimization are justified.

Keywords: group control of active power, hydroplant, hydropower unit, trash screens, microprocessor system, net head, gross head

Рассматривается вопрос оптимизации энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций с учетом потерь напора на сороудерживающих решетках. Определены критерии и целевая функция оптимизации. Выявлены ограничения, имеющие место в процессе реального производства. Определена методика определения напора нетто в зависимости от расхода воды через турбину гидроагрегата. Разработан алгоритм определения рабочей характеристики с учетом напора нетто. Обоснованы основные требования к методу оптимизации.

Рациональное использование энергетических ресурсов – один из самых острых вопросов нашего времени, требующий незамедлительного решения, так как невозможно успешное развитие экономики государства в условиях расточительного применения полезных ископаемых. Оптимальное ведение режима на гидроэлектростанциях (ГЭС) позволяет сохранять топливные ресурсы на тепловых электростанциях за счет использования возобновляемого источника энергии – воды.

Вопросу оптимизации энергетических режимов электростанций, в особенности гидравлических, уделялось большое внимание практически с момента возникновения отечественной энергетики [1, 2]. Однако, несмотря на колоссальный объем проделанной теоретической работы, данные методы не нашли применения на практике из-за ограниченных возможностей вычислительных машин того времени. В настоящее время, благодаря бурному развитию вычислительной техники появилась возможность значительного развития групповых регуляторов активной мощности электростанций (ГРАМ), и проблема оптимизации энергетических режимов вновь стала актуальной.

В статье рассматривается автоматическое оптимальное распределение суммарной активной мощности ГЭС между агрегатами, находящимися в работе. При этом уделено большое внимание учёту изменения перепада давления на сороудерживающих решетках в зависимости от мощности [3].

Постановка задачи оптимизации. Целевая функция и ограничения для рассматриваемой задачи определены в [4]. Целевая функция представляет собой суммарный расход воды через турбины гидроэлектростанции

$$Q_{\text{ГЭС}}(N_{\Gamma_1}, N_{\Gamma_2}, \dots, N_{\Gamma_n}) = \sum_{i=1}^n Q_{\Gamma_i}(N_{\Gamma_i}),$$

где n – количество агрегатов, участвующих в распределении активной мощности;

N_{Γ_i} – активная мощность i -го генератора;

Q_{Γ_i} – расход воды через турбину i -го агрегата.

Оптимальному режиму соответствует минимальное значение целевой функции.

Функция $Q_{\Gamma_i}(N_{\Gamma_i})$ задается неявно системой уравнений:

$$\begin{cases} Q_{\Gamma_i} = \frac{N_{\Gamma_i}}{9,87 H_{HEi} \eta_{\Gamma Ai}(H_{HEi}, N_{\Gamma_i})}; \\ H_{HEi} = H_{BP} - K_{\Delta Hi} Q_{\Gamma_i}^2, \end{cases}$$

где H_{HEi} – напор нетто i -го агрегата;

$\eta_{\Gamma Ai}$ – функция КПД турбины от напора нетто и мощности, представляющая собой

множество рабочих характеристик агрегата;

H_{bp} – напор brutto;

$k_{\Delta H_i}$ – коэффициент, характеризующий степень засоренности сороудерживающих решеток.

Ограничения в рассматриваемой задаче накладываются как на суммарную активную мощность станции, так и на мощности отдельных агрегатов:

$$N_3 = \sum_{i=1}^n N_{ri}; \quad N_{ri}^{\min} \leq N_{ri} \leq N_{ri}^{\max},$$

где N_3 – задание суммарной активной мощности ГЭС;

$N_{ri}^{\min}, N_{ri}^{\max}$ – технологические ограничения мощности i -го агрегата.

Анализ целевой функции. Для выбора метода оптимизации необходимо знать, имеет ли целевая функция локальные минимумы, или же только один (глобальный) минимум. Рассмотрим вид целевой функции на примере распределения активной мощности между тремя агрегатами Новосибирской ГЭС с номинальной мощностью по 65 МВт. Примем следующие значения параметров, входящих в целевую функцию:

$$n = 3; \quad H_{bp} = 16 \text{ м}; \quad N_3 = 90 \text{ МВт}; \quad k_{\Delta H_i} = 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ с}^2/\text{м}^5.$$

Рабочие характеристики агрегата Новосибирской ГЭС приведены на рисунке 1.

График целевой функции в зависимости от мощностей двух агрегатов N_{r1} и N_{r2} показан на рисунке 2 (мощность третьего агрегата однозначно определяется по формуле $N_{r3} = N_3 - N_{r1} - N_{r2}$). Из рисунка видно, что целевая функция в рассматриваемом случае имеет три минимума. Поскольку для всех трех агрегатов принятые одинаковые параметры, каждый из этих минимумов соответствует одному минимальному расходу и является оптимальным решением. В общем случае, когда условия работы агрегатов различны, целевая функция будет иметь локальные минимумы, не являющиеся оптимальным решением.

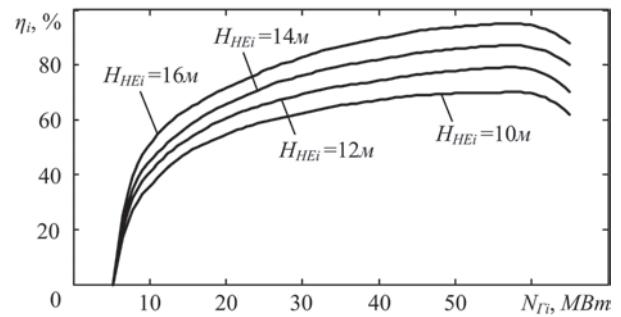


Рисунок 1 – Рабочие характеристики агрегатов Новосибирской ГЭС

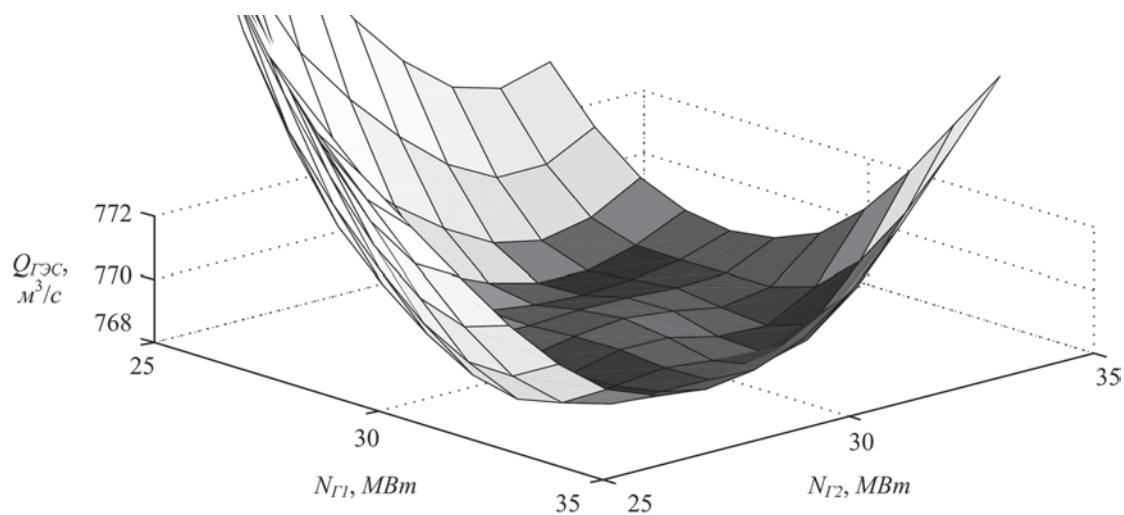


Рисунок 2 – График целевой функции при распределении мощности между тремя агрегатами

Таким образом, для решения задачи оптимизации необходимо использовать метод, применяемый для поиска глобального минимума многоэкстремальной функции. Следует учесть, что ввиду невозможности описания зависимостей $\eta_{rAi}(H_{HEi}, N_{ri})$ аналитически, требуется, чтобы метод являлся применимым для численного нелинейного программирования. Методы оптимизации, применимые в задаче распределения мощности

В работе рассматривались следующие методы оптимизации:

– Метод Монте-Карло – численный метод оптимизации, основанный на получении

большого числа реализаций стохастического (случайного) процесса [5].

– Генетический алгоритм – эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомых параметров с использованием механизмов, аналогичных естественному отбору в природе.

– Метод роя частиц – метод численной оптимизации, основанный на перемещении возможных решений, называемых частицами, в пространстве решений. Перемещения производятся в направлении наилучшего найденного в этом пространстве положения, которое постоянно изменяется при нахождении частицами более выгодных положений.

Сравнение методов оптимизации. Сравнение методов оптимизации производилось на примере трех агрегатов Новосибирской ГЭС, приведенном в п.3, по трем показателям:

1 время, затраченное на выполнение оптимизации, при равном количестве рассмотренных вариантов решения;

2 точность, полученная при одинаковом затраченном времени;

3 время, затраченное на достижение удовлетворительного результата.

В генетическом алгоритме численность популяции принята равной 50. Соответственно, перебор 10000 решений происходит при количестве поколений, равном 200. Для метода роя частиц количество частиц также принято равным 50. Поэтому, как и для генетического алгоритма, расчет 10000 решений происходит за 200 итераций.

Определение второго показателя производилось путем усреднения максимального отклонения мощности агрегата от оптимального значения в 100 опытах.

При определении времени, затраченного на достижение удовлетворительного результата, остановка расчета производилась при отклонении мощности каждого агрегата от оптимального значения не более, чем на 1%. Опыт проводился 100 раз для каждого алгоритма. Полученное время усреднялось.

Результаты расчета показателей для трех методов оптимизации сведены в таблицу 1.

На основании полученных данных, метод роя частиц следует считать наиболее эффективным для задачи оптимального распределения активных мощностей между агрегатами ГЭС. При этом показатели для генетического алгоритма и метода роя частиц достаточно близки.

Таблица 1 – Результаты применения различных методов оптимизации

Наименование показателя	Алгоритмы		
	Монте-Карло	Генетический	Роя частиц
Время (количество объектов 10000), с	1082	968	926
Максимальное отклонение за 5 минут, МВт	0,649	0,535	0,848
Время сходжения до удовлетворительно решения (1%), с	782	724	209

Заключение. Анализ целевой функции в задаче оптимального распределения активной мощности между агрегатами ГЭС показал, что для ее решения необходимо использовать численный метод, позволяющий определять глобальный минимум. В работе исследована эффективность применения в данной задаче метода Монте-Карло, генетического алгоритма и метода роя частиц.

В результате показана принципиальная возможность использования любого из этих методов: каждый из них может быть реализован в программном обеспечении ГРАМ, и позволяет найти решение с требуемой точностью. Однако наиболее эффективным для решения рассматриваемой задачи является метод роя частиц, требующий наименьших вычислительных ресурсов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Веников, В.А. Оптимизация режимов электростанций и энергосистем / В.А. Веников, В.Г. Журавлев, Т.А. Филиппова. - М.: Энергоиздат, 1981.

2 Филиппова, Т.А. Оптимизация энергетических режимов гидроагрегатов гидроэлектростанций / Т.А. Филиппова. -М.: Энергия, 1975.

3 Грановский, с.А. Конструкция гидротурбин и расчет их деталей / с.А. Грановский, В.М. Орго, Л.Г. Смоляров. -М.;Л.: МАШГИЗ, 1953.

4 Глазырин, Г.В. Оптимальное распределение мощности между агрегатами гидроэлектростанции с учетом напора нетто / Г.В. Глазырин, Н.Н. Твердохлебов, Ю.В. Казанцев // Науч. вестн. Новосиб. гос. техн. ун-та. -2013. -№4 (53).

5 Metropolis, N. The Monte Carlo Method / N. Metropolis, S. Ulam // J. Amer. statist. assoc. -194944. -№247. -Р. 335-341.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проек-

тированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: групповой регулятор активной мощности, гидроэлектростанция, гидроагрегат, соро-

удерживающая решетка, микропроцессорная система, напор нетто, напор брутто

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глазырин Глеб Владимирович, канд. техн. наук, главный специалист ЗАО «ИАЭС»

Твердохлебов Николай Николаевич, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

НОВЫЕ ПОДХОДЫ В РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ФИКСАЦИИ ТЯЖЕСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.Н. Федосов, О.В. Ким

NEW APPROACHES IN THE IMPLEMENTATION OF THE ALGORITHMS OF THE AUTOMATIC COMMIT OF GRAVITY OF THE SHORT CIRCUIT

Institute of power system automation

A.N. Fedosov, O.V. Kim

The use of automatic devices to prevent violations of the stability, certainly gives a large economic impact in the power industry. Therefore, at present great attention is paid to development of technologies in automation control modes. In this regard, the article provides a new principle of operation of the main engine prevent violations of the stability - automatic unloading at short circuits. This article discusses a new method to determine the volume control effects the automatic discharge in near and/or prolonged short circuits to maintain the dynamic stability in power system. Automatic commit of gravity of the short circuit manufactured by JSC «Power system automation institute», performed on the basis of the devices «Complex emergency automatics-multi», combines the functions of automatic in near and/or prolonged short circuits. Microprocessor base of the devices «Complex emergency automatics-multi» allows to make the fixation device of gravity of a short circuit with adaptive before the accident self-adjustment of parameters of operation.

Keywords: dynamic stability, angular characteristics of the generator, short circuit, reset electric power

Применение устройств автоматики предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), несомненно, дает большой экономический эффект в электроэнергетике. Поэтому в настоящее время уделяется большое внимание развитию технологий в автоматизации управления режимами. Приводится новый принцип работы основной подсистемы АПНУ – автоматики разгрузки при коротких замыканиях (АРКЗ). Рассматривается новый метод в определении объема управляющих воздействий автоматической разгрузки при близких и/или затяжных коротких замыканиях (АРБКЗ и АРЗКЗ) для сохранения динамической устойчивости в энергосистеме. Автоматика фиксации тяжести короткого замыкания (ФТКЗ) разработки ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем» (ЗАО «ИАЭС»), выполненная на базе шкафа КПА-М (комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный), объединяет в себе функции АРБКЗ и АРЗКЗ. Микропроцессорная база шкафов КПА-М позволяет выполнить устройство ФТКЗ с адаптивной доаварийной самонастройкой параметров срабатывания.

Динамическая устойчивость отражает свойство энергосистемы противостоять большим и резким возмущениям, как правило, нелинейным по характеру их развития. Обычно такие динамические возмущения сопровождаются резким скачком режимных параметров и последующим изменением конфигурации сети. Как правило, причиной таких возмущений являются короткие замыкания (КЗ). При затяжных и близких к шинам электростанции или узловой подстанции многофазных коротких замыканиях возникает задача сохранения динамической устойчивости. Для решения этой задачи предназначена подсистема автоматики предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ) – автоматика при близких и/или затяжных коротких замыканиях (АРБЗКЗ).

АРБЗКЗ, выполняемая ранее на электромеханической базе, срабатывала по снижению напряжения прямой последовательности на шинах контролируемой станции и выдавала команду на отключение генераторов (ОГ). Для определения алгоритма работы ступеней устройства АРБЗКЗ использовалась зависимость предельного времени отключения короткого замыкания по уровню остаточного напряжения прямой последовательности, которая получается путем серии расчетов электромеханических переходных процессов[1]. По причине случайного и сложного характера развития процесса повреждения, а также объемных расчетов электромеханических переходных процессов ранее и ныне применяемый подход к решению задачи сохранения динамической устойчивости рассматривает в расчетах самые тяжелые условия – металлическое короткое замыкание. Вследствие того, что повреждения такого характера происходят крайне редко, такой традиционный подход приводит к перегулированию управления. Кроме того, определять необходимый и достаточный объем от-

ключаемых генераторов по уровню остаточного напряжения прямой последовательности на шинах станции не представляется возможным. Интенсивность динамического перехода, вызываемого КЗ, определяется в первую очередь тяжестью и временем существования КЗ, а также предшествующей суммарной активной мощностью электростанции или по электропереходе. Наиболее правильно тяжесть КЗ (независимо от его вида и места возникновения) может быть оценена по значению небаланса мощности на валу агрегата, так как эта величина пропорциональна ускорению ротора. Если предположить, что из-за инерционности системы регулирования и несущественного отклонения частоты вращения ротора от номинальной во время КЗ мощность турбины остается неизменной, то небаланс мощности равен сбросу электрической мощности генератора [2].

Однако при выполнении пусковых органов по сбросу активной мощности на релейной аппаратуре возникает определенная трудность, заключающаяся в том, что активная мощность генератора или электропередачи в предаварийном режиме может иметь самые различные значения. Пусковое устройство должно иметь большое количество ступеней, с тем, чтобы выявить все возможные сочетания скачкообразного изменения мощности от исходного уровня к аварийному. Такие устройства получаются громоздкими и недостаточно надежными.

Ныне существующая АРБЗКЗ реализована ЗАО «Институт Автоматизации Энергетических Систем» (ЗАО «ИАЭС») на базе шкафов КПА-М (комплекс противоаварийной автоматики многофункциональный). Номенклатурное наименование в линейке устройств «фиксация тяжести короткого замыкания (УФТКЗ). Существующее УФТКЗ выявляет КЗ по факту снижения напряжения на шинах станции и появлению несимметрии в токах. Тяжесть КЗ определяется величиной сброса и длительностью его существования. Микропроцессорная база позволяет задать большое количество ступеней для более точного определения необходимого объема отключаемых генераторов, при этом, не делая устройство громоздким. При этом существенно уменьшилось время работы ФТКЗ, что немаловажно для решения задачи сохранения устойчивости, когда счет идет на миллисекунды.

Несмотря на все достоинства данного подхода к созданию устройства ФТКЗ, есть определенные недостатки:

- для настройки такого УФТКЗ требуется объемный расчет электромеханических переходных процессов;
- отсутствие оптимизации управляющих воздействий (УВ);
- длительное время реализации;
- связь с управляющим вычислительным комплексом автоматической дозировки воздействия (УВК АДВ) и т.д.

Работа ФТКЗ по разрабатываемому принципу. С учетом развития современных технологий и недостатков упомянутых выше становится очевидным необходимость изменения принципов действия устройства ФТКЗ.

I-ДО – один из алгоритмов, по которому работает УВК АДВ особенно при работе с центральной системой противоаварийной автоматики (ЦСПА). По алгоритму I-ДО управляющее воздействие, выдаваемое УВК АДВ, определяется по данным периодических расчетов текущих режимов до аварии. По настроенной таблице (решетке) УВК АДВ в зависимости от комбинации входных сигналов и уровне сброса активной мощности станции выдается соответствующее управляющее воздействие по разгрузке сечения (ОГ и ОН). Но на сегодняшний момент данный принцип не касается важной по своей значительности темы сохранения динамической устойчивости. Это связано с тем, что динамическая устойчивость зависит непосредственно от характеристики текущего повреждения и оценка параметров в заданных алгоритмах ЦСПА невозможна.

Необходимость в работе АРЗКЗ возникает при повреждениях на самой станции и на отходящих линиях.

Для упрощения расчетов примем шины приемной системы за шины бесконечной мощности.

Для любой из линий, отходящих от станции, можно построить семейство аварийных моментно-угловых характеристик с известным максимумом передаваемой мощности связи станции с системой с шагом по сбросу мощности (характеристика $P, P_a(\delta)$ на рисунке), и для конкретного сброса мощности вне зависимости от вида повреждения построить временные зависимости величин управляющих воздействий $UV(t)$. Следовательно, если известна

характеристика передаваемой мощности при КЗ $P_a(\delta)$, а также при отключенной поврежденной линии ($P_{omk}(\delta)$ на рисунке 1), мощность турбины P_T и угол КЗ δ_{kz} , из перечисленных данных можно определить необходимый и достаточный объем управляющих воздействий для сохранения синхронной работы станции и приемной системы из «правила площадей». По правилу площадей система устойчива, если площадка торможения больше, либо равна площадке ускорения. Если площадка ускорения больше площадки торможения, в этом случае для сохранения динамической устойчивости необходимо применение управляющего воздействия, то есть разгрузка со стороны станции (ОГ) и отключения нагрузки со стороны системы (ОН) для исключения наброса мощности на смежные сечения.

Для каждой линии и предполагаемой величины сброса активной мощности осуществляется расчет по ниже приведенному алгоритму.

Для каждого возможного сброса P , задаваясь шагом времени существования КЗ (рисунок), перемещаем угол отключения КЗ δ_{omk} в сторону увеличения. Выполняем расчеты площади ускорения S_y и торможения S_T и сравниваем их по величине.

Если во время существования КЗ при угле $\delta(i)$, S_y превысила S_T , тогда виртуально отключаем самый загруженный генератор, так как именно у него самая большая вероятность выйти из синхронизма с системой из-за накопленной потенциальной (электрической) энергии, которая после резкого уменьшения момента нагрузки на валу гидроагрегата начнет переходить в кинетическую энергию вращения. Тем самым снижаем P_T до P_{T1} , что ведет к увеличению площади торможения, следовательно $S_y \leq S_T$. При дальнейшем существовании КЗ при $\delta(j)$ неравенство снова меняет знак $S_y > S_T$, поэтому отключаем следующий наиболее загруженный генератор и снижаем P_T до P_{T2} . И снова делаем перерасчет площадей S_y и S_T .

Исходя из выше сказанного, для конкретной предполагаемой поврежденной линии и при разных величинах сброса активной мощности осуществляем периодический перерасчет и получаем зависимость последовательного отключения по убыванию загрузки генераторов от времени существования КЗ на этой линии.

Пусковыми сигналами ФТКЗ служат:

- фактический сброс активной мощности (также для определения аварийной характеристики);
- снижение напряжения на шинах станции;
- срабатывание ФОЛ, ФОТ (для определения аварийной $P_a(\delta)$ и послеаварийной $P_{omk}(\delta)$ характеристик);

Перечень контролируемых параметров:

- режимные параметры (ток генераторов, напряжение на шинах станции, δ_{kz});
- ремонтное состояние сетевых элементов.

Результаты этого расчета – моменты во времени существования повреждения, в которых необходимы управляющие воздействия (ОГ и ОН). Этот расчет производится периодически до аварии для разных времен существования КЗ по условиям конкретных сбросов активной мощности (для каждой из возможных послеаварийных схем), то есть по алгоритму I-ДО. В этом алгоритме самонастройки ФТКЗ, который учитывает реальные условия аварийного режима (учет сопротивления дуги короткого замыкания), и состоит новизна разрабатываемого метода.

Взаимодействие разрабатываемого ФТКЗ с УВК АДВ заключается только в передаче блокирующего сигнала на время работы ФТКЗ и последующей передачи количества отключ-

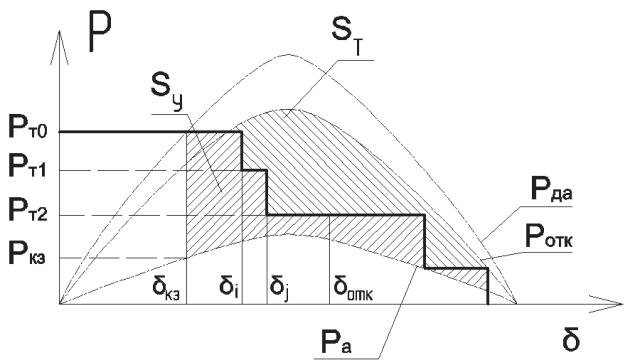


Рисунок – График изменения (утолщенной линией) мощности турбины при работе алгоритма ФТКЗ для рассматриваемой поврежденной линии: P_{da} – доаварийная характеристика передаваемой мощности; P_{omk} – послеаварийная; P_a – аварийная

ченных генераторов, для исключения перерегулирования при необходимости формирования ПО из условий сохранения статической устойчивости. Выполнения выходных цепей через УВК АДВ нет необходимости, по причине сокращения времени действия устройства и как следствие уменьшения объемов УВ.

Заключение. Из выше сказанного можно выделить ряд преимуществ по сравнению с существующей автоматикой ФТК3:

- нет необходимости в объемных расчетах электромеханических переходных процессов;
- снижается риск влияния человеческого фактора по причине отсутствия необходимости в задании большого количества уставок (вытекает из первого);
- более гибкое управление (нет излишнего отключения генерируемой мощности и нагрузки) в силу малой дискретности по времени и заранее определенного по текущей загрузке количества отключаемых генераторов, что повышает экономический эффект управления энергосистемой из-за снижения убытков по причине недоотпуска электроэнергии;
- повышается быстродействие и эффективность работы АПНУ исключением дополнительной задержки сигналов о срабатывании ФТК3 на входе УВК АДВ из-за конечного времени работы выходных промежуточных реле ФТК3;
- увеличивается быстродействие системы АПНУ за счет отсутствия необходимости ввода дополнительной задержки сигнала о срабатывании ФТК3 на входе УВК АДВ (помехозащищенность).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по устойчивости энергосистем: утв. приказом М-ва энергетики Рос. Федерации от 30.06.03 №277.

2 Окин, А.А. Противоаварийная автоматика энергосистем / А.А. Окин. -М.: Изд-во МЭИ, 1995. -212 с.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: динамическая устойчивость, угловая характеристика генератора, короткое замыкание, сброс мощности

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Федосов Алексей Николаевич, главный специалист ЗАО «ИАЭС»

Ким Ольга Вячеславовна, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ШИНАХ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

В.О. Чершова

REAL TIME DEFINITION OF CRITICAL VOLTAGE OF THE COMPLEX LOAD FOR THE PROBLEMS OF THE EMERGENCY CONTROL MANAGEMENT

Institute of power system automation
V.O. Chershova

The urgency of the tasks of preserving the stability of the complex load is increasing with increasing of responsibility and complexity of technological processes in metallurgy, petroleum and other industries. Currently, the methods for early identification of security limitations imposed by the stability of load nodes are used widely. The main disadvantage of these methods is a significant overstatement of the limits, resulting in less efficient operation of electric power systems (EPS). Identification of the load equivalent circuit parameters and the critical voltages in real time allow us to calculate the actual security limits and use them to provide better regime management, resulting in more efficient EPS operation. In this paper, based on the transient analysis, the authors explore the possibility of identifying the parameters of the model of the complex loading and the possibility of determining the critical voltages in the nodes of electrical network.

Keywords: stability of complex load, identification of parameters of the model of the complex load, critical voltage, verification of mathematical model, real time emergency control management

Актуальность задачи сохранения устойчивости нагрузки возрастает по мере увеличения ответственности и усложнения технологических процессов в металлургической, нефтегазовой и других отраслях промышленности. Основным недостатком используемого в настоящее время заблаговременного определения режимных ограничений по условию устойчивости нагрузки является их завышение, что ведёт к снижению эффективности энергосистемы (ЭС), то есть её способности передавать боль-

ше энергии на большие расстояния с большей надёжностью. Идентификация параметров схемы замещения нагрузки и определение критических напряжений в режиме реального времени позволяют вычислять актуальные режимные ограничения и использовать их при управлении режимом, что способствует повышению эффективности ЭС. В работе исследуется возможность идентификации параметров модели комплексной нагрузки при изменениях режима сети и определения критических напряжений в узлах сети.

Метод контроля ограничений по статической устойчивости нагрузки на базе идентифицируемой по параметрам режима модели. Для схемы замещения комплексной нагрузки, состоящей из асинхронного двигателя (АД) и нагрузки, представленной линейным шунтом (рисунок 1), справедлива система уравнений (1).

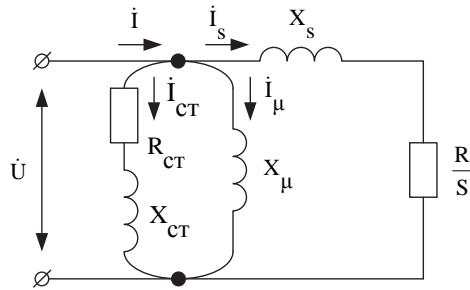


Рисунок 1 – Схема замещения комплексной нагрузки, состоящей из асинхронного двигателя и шунта

$$\left\{ \begin{array}{l} P_i = \frac{R}{S_i} + I_{cti}^2 = \left(\frac{U_i}{\sqrt{(R/S_i)^2 + X_s^2}} \right)^2 \frac{R}{S_i} + \left(\frac{U_i}{\sqrt{R_{ct}^2 + X_{ct}^2}} \right)^2 R_{ct}, \\ Q_i = I_{Si}^2 X_s + I_{cti}^2 X_{ct} + I_{\mu i}^2 X_{\mu} = \left(\frac{U_i}{\sqrt{(R/S_i)^2 + X_s^2}} \right)^2 X_s + \left(\frac{U_i}{\sqrt{R_{ct}^2 + X_{ct}^2}} \right)^2 X_{ct} + \frac{U_i^2}{X_{\mu}} \end{array} \right. . \quad (1)$$

В системе уравнений (1) известными параметрами являются:

- P_i – активная мощность, потребляемая комплексной нагрузкой из сети в i -ом режиме её работы;
- Q_i – реактивная мощность, потребляемая комплексной нагрузкой из сети в i -ом режиме её работы;
- U_i – напряжение на шинах комплексной нагрузки в i -ом режиме её работы.

Неизвестными параметрами в системе уравнений (1) являются:

- R – активное сопротивление асинхронного двигателя;
- X_s – индуктивное сопротивление рассеивания асинхронного двигателя;
- X_{μ} – индуктивное сопротивление намагничивания асинхронного двигателя;
- R_{ct} – активное сопротивление статической нагрузки;
- X_{ct} – индуктивное сопротивление статической нагрузки;
- S_i – значение скольжения ротора асинхронного двигателя в i -ом режиме его работы.

Для определения неизвестных параметров схемы замещения необходимы значения режимных параметров комплексной нагрузки (измерение P, Q, U) для ряда моментов времени $t_1 \dots t_i$ при изменениях режима её работы. Требуемое число измерений i определяется как минимум условием равенства в системе уравнений (1) количества уравнений количеству искомых величин. Для получения устойчивого решения системы уравнений (1) численным способом достаточное число измерений i , как правило, превышает необходимое (то есть должна решаться переопределенная система уравнений). Для решения может быть использована любая программная среда, обладающая алгоритмами численного решения (например, программная среда Mathcad).

В результате решения системы уравнений (1), определяются параметры схемы замещения комплексной нагрузки, на основании которых по формулам (2) и (3) вычисляются ак-

туальные значения критического скольжения асинхронного двигателя и критического напряжения комплексной нагрузки в режиме реального времени:

$$S_{KP} = f(P_i, Q_i, U_i) = R/X_s; \quad (2)$$

$$U_{KP} = f(P_i, Q_i, U_i) = \sqrt{\frac{P_0}{R} + \frac{R_{CT}}{R_{CT}^2 + X_{CT}^2}} \cdot \sqrt{S_{KP}/((R/S_{KP})^2 + X_s^2)}. \quad (3)$$

Вышеприведённая модель и алгоритм нахождения критического напряжения удобны для использования в случае, когда регистрация (измерение) режимных параметров и контроль критических значений параметров производится на шинах комплексной нагрузки. Этот случай отражает ситуацию, характерную для потребителя, заинтересованного в получении информации о предельных параметрах статической устойчивости своей нагрузки (промышленное производство, содержащее ответственные технологические процессы и пр.).

Однако, при контроле допустимости режимов дежурным персоналом сетевых компаний, заинтересованным в устойчивой работе нагрузки потребителей, больший интерес представляют критические напряжения в центрах питания (ЦП) потребителей. В случае, когда измерения режимных параметров отходящих линий, питающих узлы комплексной нагрузки, производят в ЦП потребителей, расчётная схема замещения (рисунок 2) и математическая модель (4)-(13), по которой следует производить идентификацию параметров схемы замещения и расчёт критического напряжения в ЦП, несколько усложняются [1, 2].

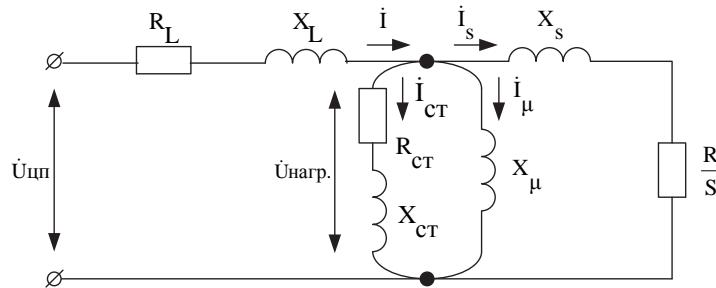


Рисунок 2 – Схема замещения линии, питающей комплексную нагрузку, от центра питания

$$\begin{cases} P_i = I_{S_i}^2 \frac{R}{S_i} + I_{CTi}^2 R_{CT} + I^2 R_L; \\ Q_i = I_{S_i}^2 X_S + I_{CTi}^2 X_{CT} + I_{\mu i}^2 X_\mu + I^2 X_L; \end{cases} \quad (4)$$

$$\begin{cases} P_i = \left(\frac{U_{нагр.i}}{\sqrt{(R/S_i)^2 + X_S^2}} \right)^2 \frac{R}{S_i} + \left(\frac{U_{нагр.i}}{\sqrt{R_{CT}^2 + X_{CT}^2}} \right)^2 R_{CT} + \left(\frac{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}}{\sqrt{3}U_{ЦПi}} \right)^2 R_L; \\ Q_{iL} = \left(\frac{U_{HАГР.i}}{\sqrt{(R/S_i)^2 + X_S^2}} \right)^2 X_S + \left(\frac{U_{HАГР.i}}{\sqrt{R_{CT}^2 + X_{CT}^2}} \right)^2 X_{CT} + \frac{U_{HАГР.i}^2}{X_\mu} + \left(\frac{\sqrt{P_i^2 + Q_i^2}}{\sqrt{3}U_{ЦПi}} \right)^2 X_L; \end{cases} \quad (5)$$

где

$$U_{HАГР.i} = \sqrt{U_{ЦПi} + \left(\frac{P_i R_L + Q_i X_L}{U_{ЦПi}} \right)^2 + \left(\frac{P_i R_L - Q_i X_L}{U_{ЦПi}} \right)^2}.$$

В системе уравнений (4) и (5) дополнительными неизвестными параметрами (помимо неизвестных системы (1)) являются активное R_L и реактивное X_L сопротивление эквивалентной линии, соединяющей шины комплексной нагрузки с центром питания.

После идентификации параметров схемы замещения, значения критического скольжения АД и критического напряжения комплексной нагрузки вычисляются по формулам:

$$S_{KP} = f(P_i, Q_i, U_i) = R/X_s; \quad (6)$$

$$\Delta U_{KP.HАГР} = f(P_i, Q_i, U_i) = \sqrt{P_0 - \left(\frac{\sqrt{P_0^2 + Q_0^2}}{\sqrt{3}U_{ЦП0}} \right) R_L} / \sqrt{\left(\frac{R/S_{KP}}{(R/S_{KP})^2 + X_S^2} + \frac{R_{CT}}{R_{CT}^2 + X_{CT}^2} \right)}; \quad (7)$$

$$P_{KP,ДВ.} = \frac{U_{KP,НАГР}^2 R/S_{KP}}{(R/S_{KP})^2 + X_S^2}; \quad (8)$$

$$\Delta U_{KP,ДВ.} = \frac{U_{KP,НАГР}^2}{X_\mu} + \frac{U_{KP,НАГР}^2 X_S}{(R/S_{KP})^2 + X_S^2}; \quad (9)$$

$$P_{KP,СТ.} = \frac{U_{KP,НАГР}^2 R_{CT}}{R_{CT}^2 + X_{CT}^2}; \quad (10)$$

$$Q_{KP,СТ.} = \frac{U_{KP,НАГР}^2 X_{CT}}{R_{CT}^2 + X_{CT}^2}; \quad (11)$$

$$\Delta U_{KP} = \sqrt{\left[\frac{(P_{KP,ДВ} + P_{KP,СТ}) R_L + (Q_{KP,ДВ} + Q_{KP,СТ}) X_L}{U_{KP,НАГР}} \right]^2 + \left[\frac{(P_{KP,ДВ} + P_{KP,СТ}) X_L - (Q_{KP,ДВ} + Q_{KP,СТ}) R_L}{U_{KP,НАГР}} \right]^2}; \quad (12)$$

$$\Delta U_{KP,ЦП.} = U_{KP,НАГР.} + \Delta U_{KP}. \quad (13)$$

Экспериментальные исследования на физической модели энергосистем НГТУ в сети с комплексной нагрузкой, состоящей из асинхронного двигателя и статической нагрузки. В таблице представлены значения параметров схемы замещения комплексной нагрузки, критического скольжения АД и критического напряжения комплексной нагрузки, полученные на основании серии опытов с комплексной нагрузкой на физической модели энергосистем НГТУ.

Пояснения к таблице:

– в столбце 2 приведены значения параметров схемы замещения, полученные в результате проведения опыта холостого хода (ХХ) и короткого замыкания (КЗ) асинхронного двигателя, а также значения S_{KP} и $U_{KP,НАГР.}$, при которых произошло нарушение статической устойчивости АД и его опрокидывание вследствие последовательного утяжеления условий его работы (снижения напряжения на шинах нагрузки при помощи лабораторного трансформатора). Данные значения принимаются за эталон для верификации разработанной математической модели. Значения режимных параметров комплексной нагрузки (P_i, Q_i, U_i) в процессе утяжеления режима фиксируются, и являются известными величинами в системе уравнений (1) или (5). Значения, полученные в результате решения системы уравнений (1) или (5), должны совпадать с эталонными (столбец 2),

– в столбце 3 приведены полученные в результате решения системы уравнений (1) значения параметров схемы замещения, значения S_{KP} и $U_{KP,НАГР.}$ для случая, когда измерения режимных параметров производят на шинах комплексной нагрузки. Для получения устойчивого численного решения системы уравнений использованы измерения режимных параметров в пяти режимных условиях $i=5$,

– в столбце 4 приведены полученные в результате решения системы уравнений (5) значения параметров схемы замещения, значения S_{KP} и $U_{KP,ЦП.}$ для случая, когда измерения режимных параметров производились в центре питания потребителей, однако при этом параметры линии (R_L и X_L), соединяющей шины комплексной нагрузки с центром питания, а значит и напряжение на шинах нагрузки $U_{НАГР,i}$ – известны. Практически определение $U_{НАГР,i}$ по параметрам режима в центре питания может быть осуществлено при помощи фантомной схемы. Для этого в цепь трансформатора тока фидера включается сопротивление Z , пропорциональное по величине R_L и X_L . Сопротивление присоединяется также к выходному зажиму трансформатора напряжения. Тогда вольтметр, включённый за данным сопротивлением, покажет напряжение в ЦП за вычетом падения напряжения на сопротивлении R_L и X_L то есть напряжение на шинах комплексной нагрузки. Для получения устойчивого численного решения системы уравнений также использованы измерения режимных параметров в пяти режимных условиях $i=5$,

– в столбце 5 приведены полученные в результате решения системы уравнений (5) значения параметров схемы замещения, значения S_{KP} и для случая, когда измерения режимных параметров производят в ЦП потребителей, при этом R_L , X_L и $U_{НАГР,i}$ – неизвестны. Для получения устойчивого численного решения системы использованы измерения режимных параметров в десяти режимных условиях $i=10$.

Как видно из таблицы 1, значения параметров схемы замещения комплексной нагрузки, а также значения критических скольжения и напряжения, полученные в результате идентификации, близки по величине к опытным значениям. Погрешность значений столбцов 3, 4 и 5 относительно значений столбца 2 не превышает 3,8%, что позволяет судить об адекватности разработанной математической модели.

Таблица 1 – Значения параметров схемы замещения комплексной нагрузки

Параметр	Значения, полученные в результате опытов	Значения, полученные в результате идентификации при измерении режимных параметров		
		на шинах АД	в ЦП*	в ЦП**
R , Ом	1,400	1,396	1,416	1,426
X_s , Ом	3,482	3,483	3,603	3,538
X_μ , Ом	28,226	27,790	28,351	27,895
R_{CT} , Ом	58,000	58,342	57,579	55,801
X_{CT} , Ом	0	-2,149	0,235	-1,803
R_L , Ом	0	–	0,275	-0,078
X_L , Ом	1,600	–	1,622	1,649
S_{KP} , о.е.	0,402	0,401	0,393	0,403
$U_{KP,НАГР}$ (на шинах АД), В	135,660	135,730	–	–
$U_{KP,НАГР}$ (в ЦП), В	130,283	–	131,732	131,080
$U_{KP,ЦП}$, В	149,987	–	155,663	148,688

*- R_L , X_L , $U_{дв,i}$ -известны; **- R_L , X_L , $U_{дв,i}$ -неизвестны

Следует отметить, что на устойчивость численного решения системы уравнений (1) и (5) оказывают влияние следующие факторы:

– неудачно выбранные начальные приближения искомых величин. Влияние данного фактора означает, что стартовые условия для алгоритма численного решения следует выбирать порядка номинальных значений искомых величин, которые могут быть известны по паспортным данным двигателя или вычислены экспериментально,

– ошибки в исходных данных (погрешность измерений режимных параметров). Влияние данного фактора может быть сведено к минимуму путём выбора большего числа точек на регистрограмме переходных процессов и сглаживания «выбросов» значений, а также решения переопределённой системы уравнений.

Разработанный алгоритм определения критического напряжения в узлах комплексной нагрузки может служить функционально-логической частью работы автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН) и автоматической частотной разгрузки (АЧР) с контролем напряжения, в режиме реального времени определяя актуальное значение критического напряжения и текущего запаса устойчивости нагрузки. Работа АОСН и АЧР в этом случае будет способствовать большей эффективности противоаварийного управления, по сравнению с методикой заблаговременного расчёта уставок минимального напряжения нагрузки. Разработанный алгоритм может также функционально входить в систему автоматического предотвращения нарушения устойчивости (АПНУ), в район управления которой входят части энергосистемы, нарушение устойчивости в которых происходит по критерию минимального напряжения в узлах нагрузки [3]. Алгоритм может использоваться для реализации противоаварийного управления по принципу I-ДО (основанному на методе расчёта послеаварийного режима, запаса статической устойчивости и дозировки управляющих воздействий в ходе единого итерационного вычислительного процесса) с представлением нагрузок в текущей расчётной модели энергосистемы моделью комплексной нагрузки, или непосредственно в режиме реального времени.

Выводы.

– Изменения режимов сети позволяют производить идентификацию параметров схем замещения нагрузки и критических напряжений на их основе.

– Разработанные математические модели дают возможность в темпе процесса вычислять параметры схем замещения комплексной нагрузки и предоставлять информацию о критических напряжениях как потребителю, в случае установки контрольно-измерительного

прибора в его эксплуатационной зоне, так и диспетчеру, осуществляющему ведение режима, в случае установки КИП в центре питания нагрузки – эксплуатационной зоне сетевой организации.

– Появление возможности мониторинга критического напряжения в узлах комплексной нагрузки может обеспечить объективную оценку текущих запасов устойчивости нагрузки, способствуя надежности режима и эффективности противоаварийного управления.

– Разработанный алгоритм определения критического напряжения в узлах комплексной нагрузки может функционально являться частью АОСН, АЧР, АПНУ и определять актуальное значение критического напряжения и текущий запас устойчивости нагрузки при реализации противоаварийного управления по принципу I-ДО или непосредственно в режиме реального времени.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Педан, А.С. Идентификация параметров схемы замещения нагрузки по данным СМПР и определение критических напряжений / А.С. Педан, А.Г. Фишов // Всероссийская научно-техническая конференция «Электроэнергетика глазами молодёжи»: сб. докл. -Екатеринбург, 2010. -Т. 1.

2 Гуревич, Ю.Е. Расчеты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах / Ю.Е. Гуревич, Л.Е. Либова, А.А. Окин. -М.: Энергоатомиздат, 1990. -390 с.

3 Методические указания по устойчивости энергосистем: утв. приказом М-ва энергетики Рос. Федерации от 30.06.03 №277. -14 с.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устойчивость комплексной нагрузки, идентификация параметров схемы замещения нагрузки, критическое напряжение, верификация математической модели, противоаварийное управление в режиме реального времени

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Чершова Валерия Олеговна, заведующая сектором ЗАО «ИАЭС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ПОЛИГОН ДЛЯ ОТРАБОТКИ РЕШЕНИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Ю.С. Боровиков, А.С. Гусев, М.В. Андреев, Р.А. Уфа

TRAINING GROUND BASED ON HYBRID REAL-TIME POWER SYSTEM SIMULATOR FOR DEVELOPING SOLUTIONS ON MODELING ACTIVE-ADAPTIVE GRID

National research Tomsk polytechnic university
Yu.S. Borovikov, A.S. Gusev, M.V. Andreev, R.A. Ufa

The paper deals with the application of training ground based on Hybrid Real-Time Power System Simulator for developing solutions on the analysis, design and research of smart grid with active-adaptive networks.

Keywords: smart grid, active-adaptive networks, modeling, real time systems, reliability

Рассмотрены вопросы применения Всережимного моделирующего комплекса реального времени электроэнергетических систем в качестве универсального полигона для отработки решений по проектированию и исследованию интеллектуальных энергосистем с активно-адаптивными сетями.

Проектирование, исследование и эксплуатация интеллектуальных энергосистем (ИЭС) с активно-адаптивными сетями (AAC) в целом требует решения большого количества нетривиальных задач. Разрабатываемые при этом технические решения и используемое при этом оборудование во многом являются новыми не только для российской энергетики, но и для всей мировой практики. Поэтому их внедрение требует тщательного анализа, а также, в большинстве случаев, индивидуального подхода и проведения научных исследований, обеспечивающих не только получение желаемого технико-экономического эффекта, но и оценку влияния новых элементов сети на энергосистему в целом. Все это предъявляет повышенные требования к используемым инструментам и методикам исследования при решении подобного рода задач.

В настоящее время в качестве таких инструментов используются цифровые программ-

ные и программно-аппаратные комплексы, основанные на применении численных методов. Однако, несмотря на высокий уровень данных разработок, им присущ ряд недостатков, связанных с самой методикой численного решения дифференциальных уравнений, особенно описывающих процессы в сложных динамических системах какими и являются электроэнергетические системы (ЭЭС).

Альтернативным направлением развития моделирующих комплексов ЭЭС, активно поддерживаемым и развивающимся во всем мире является гибридное моделирование, основанное на принципе комбинирования различных методов моделирования. Данный подход, ввиду гораздо более высокой сложности построения подобного рода систем, не получил широкого распространения и развития за рубежом. На сегодняшний день наиболее развитым и проработанным решением в области гибридного моделирования энергосистем является разработанный в Томском политехническом университете Всережимный моделирующий комплекс реального времени ЭЭС (ВМК РВ ЭЭС), основанный на принципах и положениях концепции гибридного моделирования энергосистем.

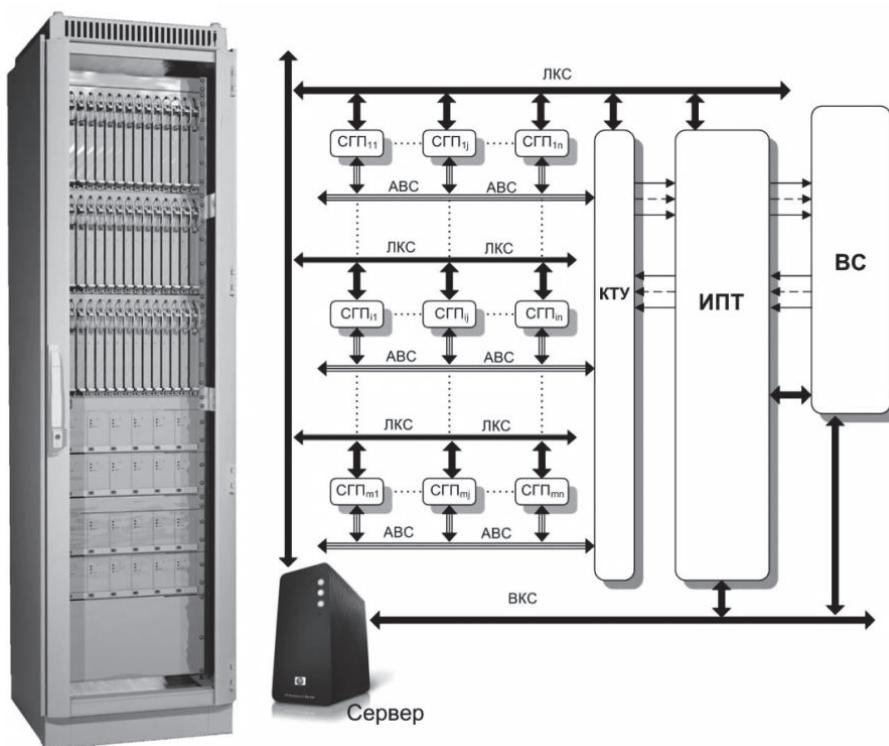


Рисунок 1 – Внешний вид и конструктивная схема ВМК РВ ЭЭС:
СГП-специализированный гибридный процессор; ABC-трёхфазные
входы/выходы различных СГП; КТУ-коммутатор трёхфазных
узлов; ИПТ-программно-технический интерфейс; ВС-внешние
средства; ЛКС и ВКС-локальная и внешняя компьютерные сети

Трёхфазные входы/выходы различных СГП через коммутатор трёхфазных узлов (КТУ) объединяются согласно моделируемой схеме ЭЭС. Для информационного обмена микропроцессоры всех СГП соединены локальной сетью с серверной ЭВМ.

На серверной ЭВМ устанавливается специализированное программное обеспечение (СПО) ВМК РВ ЭЭС. В нем создаются базы данных, разнообразный программный инструментарий. Также в СПО реализуются все информационно-управляющие возможности комплекса.

Сервер может выполнять функции автоматизированного рабочего места пользователя или администратора ВМК РВ ЭЭС. При этом ему открыт полный доступ ко всем информационно-управляющим возможностям последнего.

Заложенные в ВМК РВ ЭЭС принципы построения исключают методическую ошибку решения математических моделей элементов и соответственно совокупной модели ЭЭС в целом. На это не влияет дифференциальный порядок, жёсткость и интервал решения. Точность решения гарантирована и определяется только инструментальной погрешностью ап-

ВМК РВ ЭЭС [1] представляет собой параллельную, многопроцессорную, программно-техническую систему реального времени гибридного типа (рисунок 1). Он объединяет в себе адаптируемую совокупность специализированных гибридных процессоров (СГП) всех элементов моделируемой схемы ЭЭС и информационно-управляющую систему.

Все СГП строятся по единому принципу. В соответствии с ним каждый из СГП содержит сопроцессор (СП), который соответствует решаемой системе уравнений, и унифицированную периферию, которая включает

программно-аппаратный интерфейс локальной компьютерной сети, продольные и поперечные цифроуправляемые пофазные коммутаторы.

паратной части комплекса. Минимизация этой погрешности обеспечивается применением прецизионных интегральных компонентов.

Последнее стало возможным благодаря использованию концепции гибридного моделирования [2], которая для достижения высокой адекватности моделирования объединяется несколько методов: аналоговое, цифровое (численное) и физическое. Аналоговая часть обеспечивает отсутствие методической погрешности интегрирования. Цифровая часть позволяет на программном уровне реализовать алгоритмы управления и изменения параметров воспроизводимой системы. На физическом уровне обеспечивается связь и коммутация моделируемых элементов аналогично тому, как это осуществляется в реальной энергосистеме.

Вышеописанные характеристики ВМК РВ ЭЭС позволяют использовать его как инструмент для решения большинства задач, принципиально важных для управления ИЭС с ААС. Одним из примеров применения ВМК РВ ЭЭС является отработка решения по созданию элементов ИЭС с ААС в пилотном проекте ОАО «ФСК ЕЭС» на базе энергокластера «Эльгауголь», входящий в состав ОЭС Востока [1].

Одними из основных элементов в управляемой части энергокластера являются управляемые шунтирующие реакторы (УШР): УШР-25000/110, РТУ-100000/220-УХЛ1, устанавливаемые соответственно на ПС Эльгауголь и ПС Призейская.

Локальное управление УШР осуществляется системой автоматического управления (САУ). Основные функции данной системы: стабилизация напряжения в точке подключения; управление током реактора; управление степенью загрузки УШР по реактивной мощности.

Для централизованного управления УШР подстанций Призейская и Эльгауголь ЗАО «НОВИНТЕХ» и ООО «ЭНТЕЛ» разрабатывалась адаптивная автоматическая система оптимального управления и регулирования напряжения и реактивной мощности (ААСОУ), которая в зависимости от

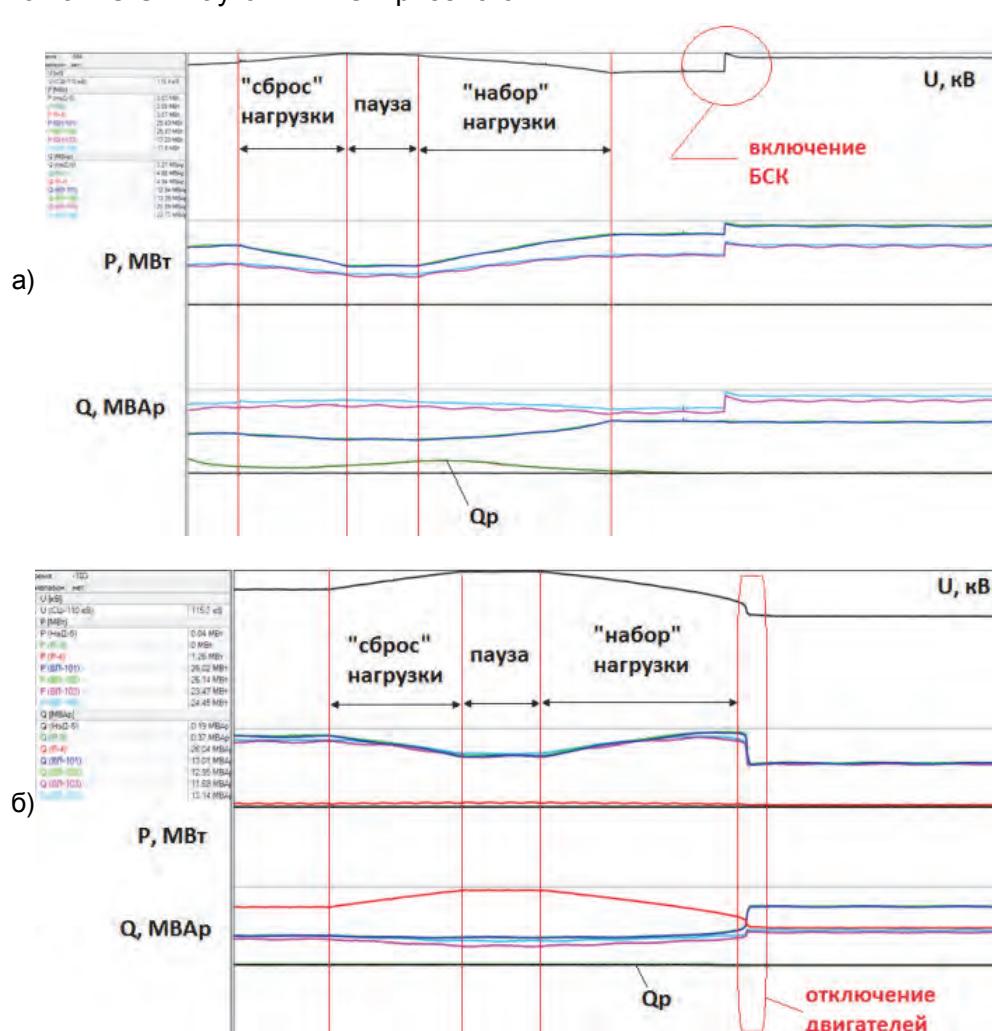


Рисунок 2 – График изменения нагрузки шин 110 кВ ПС Эльгауголь при включенных (а) и при отключенных (б) САУ УШР, БСК ПС Эльгауголь

режимных параметров в ЭЭС должна обеспечивать централизованный расчет и выдачу уставок в САУ соответствующих УШР. Организованное таким образом управление группой средств компенсации реактивной мощности (СКРМ) на данных подстанциях позволяет поддерживать нормативный уровень напряжения во всем энергокластере, включающем в себя четыре подстанции и сети высокого напряжения основного потребителя – горнодобывающе-

го комбината.

В рамках проекта «Эльгауголь» на базе ВМК РВ ЭЭС создана программно-аппаратная платформа для тестирования и настройки адаптивного регулятора ААСОУ, в частности, для решения следующих задач: подбор рабочих диапазонов параметров регулятора; проверка достаточности мощности и количества, предусмотренных к установке систем компенсации реактивной мощности, для решения задач регулятора напряжения; проверка решений по эффективности использования регулятора; также осуществляется анализ режима работы энергокластера и прилегающей сети.

Решение поставленных задач предполагает исследование совместной работы регулятора ААСОУ и САУ. В связи с этим создана и интегрирована в ВМК РВ ЭЭС универсальная модель САУ устанавливаемых в энергокластере УШР. Модель снабжена гистерезисным регулятором, которым при загрузке УШР по реактивной мощности до минимального/максимального уровня и удержания этого уровня в течение определенного времени осуществляется включение/отключение одного или поочередно нескольких блоков конденсаторных батарей (БСК).

Ниже представлены фрагменты результатов исследований в рамках проекта «Эльгауголь», выполненные на ВМК РВ ЭЭС (рисунки 2 и 3).

Согласно рисунку 2б при отключенных САУ УШР ПС Эльгауголь на этапе «сброса» нагрузки напряжение возрастает до уровня значительно превышающего 5%-ую зону относительно заданной уставки, в отличие от эксперимента, когда данные средства включены. Другое и главное отличие этого эксперимента – это то, что во время набора нагрузки произошло значительное снижение напряжения, что, в конечном счете, привело к остановке двигателей на ПС Промплощадка и ПС Горная, питаемых от шин 110 кВ ПС Эльгауголь. Вследствие этого активная мощность линий отходящих от шин 110 кВ ПС Эльгауголь резко уменьшилась, а реактивная мощность увеличилась.

Сравнив рисунки 3а и 3б, становится очевидным, что активные и реактивные потери в энергокластере при отключенных САУ УШР выше, чем при включенных. Отсюда можно сделать вывод, о том что, установка САУ УШР и подобных систем повышает эффективность работы энергосистемы и уменьшает суммарные потери электроэнергии.

В заключение можно сказать, что ВМК РВ ЭЭС, благодаря своим уникальным свойствам и возможностям, может быть использован в качестве универсального полигона для отработки всевозможных решений в процессе проектирования и исследования ИЭС с ААС. Доказательством этому служат исследования, проведенные в рамках проекта «Эльгауголь», фрагменты которых представлены в данной статье.

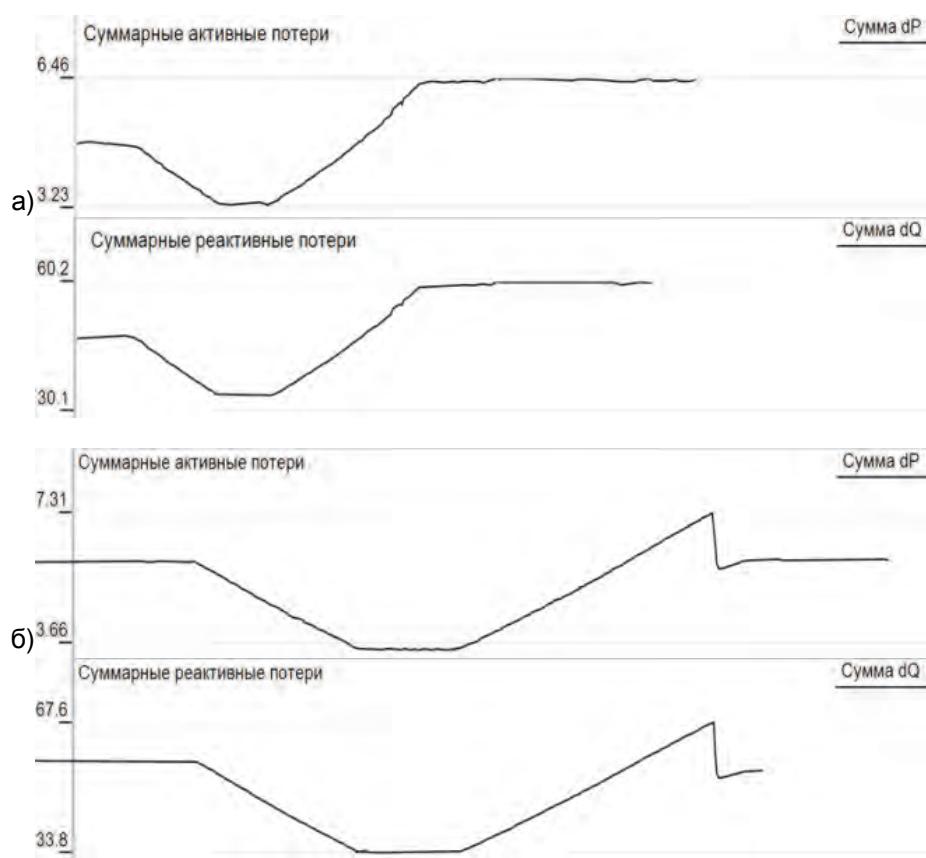


Рисунок 3 – Суммарные активные и реактивные потери в энергокластере при включенных (а) и при отключенных (б) САУ УШР, БСК ПС Эльгауголь

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Боровиков, Ю.С. Всережимный моделирующий комплекс реального времени и его использование для решения задач управления в ИЭС ААС / Ю.С. Боровиков, А.В. Прохоров, А.О. Сулайманов // Релейн. защита и автоматизация. -2012. -№01 (06). -С. 54-59.

2 Гусев, А.С. Концепция и средства всережимного моделирования в реальном времени электроэнергетических систем / А.С. Гусев // Изв. высш. учеб. заведений. Проблемы энергетики. -2008. -№9/ 10/ 1. -С. 164-170.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск). Работа выполнена в рамках государственного задания «Наука» 2.1318.2014 «Разработка и исследование гибридного моделирующего комплекса энергосистемы с активно-адаптивной сетью».

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интеллектуальные энергосистемы, активно-адаптивные сети, моделирование, системы реального времени, надежность

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Боровиков Юрий Сергеевич, докт. техн. наук, доцент ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
Гусев Александр Сергеевич, докт. техн. наук, профессор ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
Андреев Михаил Владимирович, канд. техн. наук, старший преподаватель ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

Уфа Руслан Александрович, ассистент ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»
634050, г.Томск, пр.Ленина, 30, ФГАОУ ВО «НИ ТПУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ВОЗНИКНОВЕНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ

ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Д.В. Рысов, П.В. Рысов, В.К. Федоров, Д.В. Федоров

ELECTROMECHANICAL RESONANCE MODES GENERATION AND THEIR RESEARCH

Omsk state technical university

D.V. Rysev, P.V. Rysev, V.K. Fedorov, D.V. Fedorov

The calculation of the Jacobian matrix eigenvalues of the system of equations describing the behavior of turbine generator electromechanical system is given. The stability of the operating mode of the system in dependence on the bifurcation parameter called "the level of series compensation" is determined.

Keywords: electromechanical resonance, turbogenerator, bifurcation, equilibrium point, Jacobian matrix, eigenvalues

Приводится расчет собственных значений матрицы Якоби системы уравнений, описывающей поведение электромеханической системы турбогенератора. Определяется устойчивость рабочего состояния системы в зависимости от бифуркационного параметра – уровня продольной компенсации.

Исследуем действие системы возбуждения синхронного турбогенератора без стабилизатора энергосистемы на возникновение электромеханического резонанса (ЭМР), используя известную математическую модель электромеханической системы турбогенератора:

$$a_{11} \frac{di_d}{dt} + a_{13} \frac{di_f}{dt} = [(R_\ell + R_a) i_d - X_\ell i_q + e_{cd} + v_0 \sin \delta_r + \omega_r \psi_q] \omega_b; \quad (1)$$

$$a_{22} \frac{di_q}{dt} + a_{24} \frac{di_Q}{dt} = [(R_\ell + R_a) i_q - X_\ell i_d + e_{cq} + v_0 \cos \delta_r - \omega_r \psi_d] \omega_b; \quad (2)$$

$$a_{31} \frac{di_d}{dt} + a_{33} \frac{di_f}{dt} = (v_f - R_f i_f) \omega_b; \quad (3)$$

$$a_{42} \frac{di_q}{dt} + a_{44} \frac{di_Q}{dt} = -R_Q i_Q \omega_b; \quad (4)$$

$$\frac{de_{cd}}{dt} = (\mu X_\ell i_d + e_{cq} \omega_r) \omega_b; \quad (5)$$

$$\frac{de_{cq}}{dt} = (\mu X_\ell i_q - e_{cd} \omega_r) \omega_b; \quad (6)$$

$$\frac{d\omega_1}{dt} = \frac{1}{M_1} [-D_1(\omega_1 - 1) - K_{12}(\theta_1 - \theta_2)]; \quad (7)$$

$$\frac{d\theta_1}{dt} = (\omega_1 - 1) \omega_b; \quad (8)$$

$$\frac{d\omega_2}{dt} = \frac{1}{M_2} [-D_2(\omega_2 - 1) + K_{12}(\theta_1 - \theta_2) - K_{23}(\theta_2 - \theta_3)]; \quad (9)$$

$$\frac{d\theta_2}{dt} = (\omega_2 - 1)\omega_b; \quad (10)$$

$$\frac{d\omega_3}{dt} = \frac{1}{M_3} [-D_3(\omega_3 - 1) + K_{23}(\theta_2 - \theta_3) - K_{34}(\theta_3 - \theta_4)]; \quad (11)$$

$$\frac{d\theta_3}{dt} = (\omega_3 - 1)\omega_b; \quad (12)$$

$$\frac{d\omega_4}{dt} = \frac{1}{M_4} [-D_4(\omega_4 - 1) + K_{34}(\theta_3 - \theta_4) - K_{45}(\theta_4 - \delta_r)]; \quad (13)$$

$$\frac{d\theta_4}{dt} = (\omega_4 - 1)\omega_b; \quad (14)$$

$$\frac{d\omega_r}{dt} = \frac{1}{M_5} [-D_5(\omega_r - 1) + K_{45}(\theta_4 - \delta_r) + T_m - T_e]; \quad (15)$$

$$\frac{d\delta_r}{dt} = (\omega_r - 1)\omega_b; \quad (16)$$

$$\dot{\nu}_1 = \frac{1}{\tau_r}(k_r\nu_t - \nu_1); \quad (17)$$

$$\dot{\nu}_a = \frac{1}{\tau_b}[k_j(\nu_{ref} - \nu_1 - \tau_c\dot{\nu}_1 + \nu_s + \tau_c\dot{\nu}_s - \nu_{nc} - \tau_c\dot{\nu}_{nc}) - \nu_a]; \quad (18)$$

$$\dot{\nu}_r = \frac{1}{\tau_a}[k_a(\nu_a - k_g E_{fd}) - \nu_r]. \quad (19)$$

Анализ решения системы дифференциальных уравнений (1)-(19) позволит изложить ряд выводов, которые представляют определенный интерес с точки зрения возбуждения электромеханических колебаний. Для этого составляем матрицу Якоби системы уравнений, посчитанных в точке равновесия. Для вычисления начальных условий рабочего состояния $i_d, i_q, i_f, u_d, u_q, u_1, u_a, u_r, \delta_r$ и управляющего параметра u_0 необходимо решить систему 10 алгебраических уравнений, задав P_e, Q_e и бифуркационный параметр – уровень продольной компенсации $\mu = X_c/X_l$

$$v_f - R_f i_f = 0; \quad (20)$$

$$k_r \sqrt{v_d^2 + v_q^2} - \nu_1 = 0; \quad (21)$$

$$k_j(\nu_{ref} + \nu_1) - \nu_a = 0; \quad (22)$$

$$k_a(\nu_a - k_g \nu_r \nu_b) - \nu_r = 0; \quad (23)$$

$$P_e = \nu_d i_d + \nu_q i_q; \quad (24)$$

$$Q_e = \nu_q i_d - \nu_d i_q; \quad (25)$$

$$(R_\ell + R_a)i_d - X_\ell i_q + \mu X_\ell i_q + \nu_0 \sin \delta_r + (q_0 - q_1 i_q + q_2 i_q^2 - q_3 i_q^3 - X_{\ell e} i_q) = 0; \quad (26)$$

$$X_\ell i_d + (R_\ell + R_a)i_q - \mu X_\ell i_d + \nu_0 \cos \delta_r - (d_0 + d_1(-i_d + i_f) + d_2(-i_d + i_f)^2 + d_3(-i_d + i_f)^3 - X_{\ell e} i_d) = 0; \quad (27)$$

$$\nu_d = -R_a i_d - (q_0 - q_1 i_q + q_2 i_q^2 - q_3 i_q^3 - X_{\ell e} i_q); \quad (28)$$

$$\nu_q = -R_a i_q + (d_0 + d_1(-i_d + i_f) + d_2(-i_d + i_f)^2 + d_3(-i_d + i_f)^3 - X_{\ell e} i_d); \quad (29)$$

$$T_m = i_q [d_0 + d_1(-i_d + i_f) + d_2(-i_d + i_f)^2 + d_3(-i_d + i_f)^3 - X_{\ell e} i_d] - i_d (q_0 + q_1 i_q + q_2 i_q^2 - q_3 i_q^3 - X_{\ell e} i_q). \quad (30)$$

По полученным зависимостям собственных значений матрицы Якоби от μ можно сделать вывод о том, при каких μ возникает режим ЭМР. Точка равновесия устойчива, если все собственные значения матрицы Якоби лежат в левой половине комплексной плоскости и неустойчива, если хотя бы одно собственное значение лежит в правой половине комплексной плоскости.

На рисунке 1 изображена зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ при $Q_e = 0,4358$ и $P_e = 0,9$. Поскольку матрица Якоби действительна, каждое

комплексно-сопряженное число – есть собственное значение, таким образом, получаем 7 колебательных режимов. Два режима электрических, пять механических. Режим с наименьшей частотой – режим качания или электромеханический режим, остальные четыре механических режима – режимы вращения. Два режима вращения, третий и четвертый, сильно демпфируются, так как имеют большие частоты. Следовательно, они не взаимодействуют с электрическими режимами при реальном уровне продольной компенсации. Пять действительных собственных значений – отрицательны, два связаны с обмотками поля и демпферными обмотками, остальные три – с системой возбуждения.

При небольших μ , частоты электрических режимов приблизительно 314 рад/с. С увеличением μ , подсинхронная и сверхсинхронная частоты разделяются. Так же, как и в предыдущих случаях, сверхсинхронная частота демпфируется сильно, тогда как подсинхронная – нет.

Как видно из рисунка 1, при увеличении μ частота подсинхронного электрического режима уменьшается и достигает частоты второго режима вращения при $\mu = 0,819$. Из этого следует, что собственные значения второго режима вращения сдвигаются вправо и, пересекая мнимую ось, попадают в правую половину комплексной плоскости при $\mu = H = 0,819$. Следовательно, второй режим вращения теряет устойчивость из-за бифуркации Андронова-Хопфа, что показано на рисунке 2. В данном случае частота электрического режима пересекает второй режим вращения при значениях $\mu < 1,0$ вследствие наличия общей области взаимодействия и при увеличении μ нормальный режим работы энергосистемы не восстанавливается. Из этого можно заключить, что в данном случае существует лишь одна точка бифуркации Андронова-Хопфа.

На рисунке 2 изображена зависимость угла ротора генератора δ_r от уровня продольной компенсации. Можно видеть, что точка бифуркации Андронова-Хопфа H смешена влево с $\mu = 0,842$ до $\mu = 0,819$. Другими словами, область демпфирования сократилась или область возникновения режима ЭМР увеличилась.

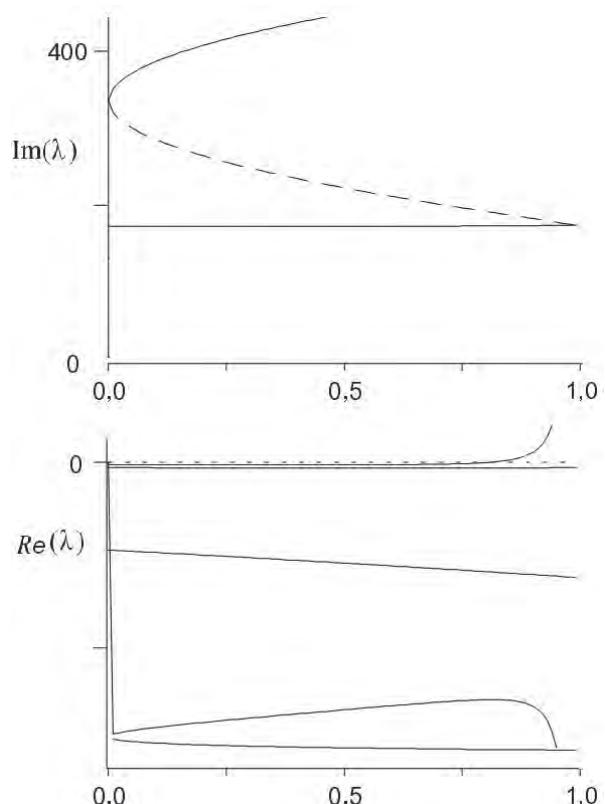


Рисунок 1 - Зависимость действительных и мнимых частей собственных значений от μ при $Q_e = 0,4358$ и $P_e = 0,9$

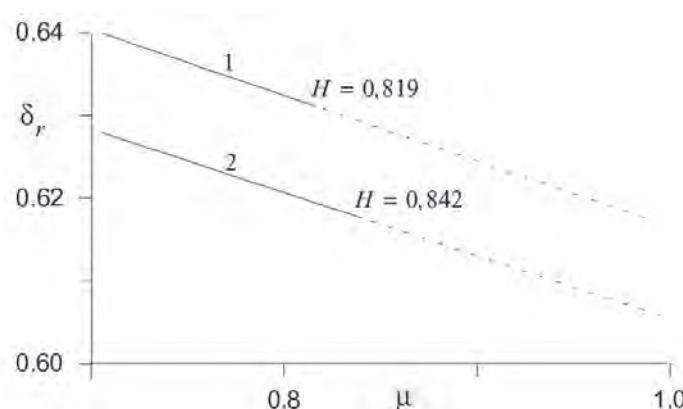


Рисунок 2 - Бифуркационная диаграмма, иллюстрирующая зависимость угла ротора генератора δ_r от уровня продольной компенсации μ : 1-с системой возбуждения; 2-без системы возбуждения; сплошная линия-устойчивые участки; пунктирная линия-неустойчивые участки

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября – 2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электромеханический резонанс, турбогенератор, бифуркация, точка равновесия, матрица Якоби, собственные значения

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Рысов Дмитрий Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Рысов Павел Валерьевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Федоров Владимир Кузьмич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

Федоров Дмитрий Владимирович, ассистент ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644050, г.Омск, пр.Мира, 11, ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

Д.А. Панасецкий, А.Б. Осак, Е.Я. Бузина

SIMULATION OF INDUCTION MOTORS WITH VARIABLE FREQUENCY DRIVE FOR THE STUDY OF MIDTERM TRANSIENTS
Melentiev Energy Systems Institute of SB RAS

D.A. Panasetskiy, A.B. Osak, E.Ya. Buzina

In the paper we propose a simplified model of the variable frequency drive (VFD) of induction motors, which can be used in the simulation software for the study of midterm transients.

Keywords: simulation, variable frequency drive, induction motor, calculation of electromechanical transients

Предложена упрощенная модель частотно-регулируемого привода (ЧРП) асинхронных двигателей, которая может быть использована в расчетных программах для исследования электромеханических переходных процессов.

В настоящее время в энергосистемах всего мира происходит активное внедрение элементов силовой электроники. В том числе, активно внедряются частотно-регулируемые приводы (ЧРП) асинхронной нагрузки, которые обеспечивают существенную экономию энергии, повышают срок эксплуатации оборудования, обладают коротким сроком окупаемости (1-2 года). В последнее десятилетие существенно увеличились объемы ввода новых электросетевых объектов как в Сибири, так и на Дальнем Востоке. Осуществляется строительство схемы внешнего электроснабжения трубопроводной системы ВСТО, разрабатываются проекты электроснабжения новых горнодобывающих и перерабатывающих предприятий. Как правило, мощные потребители, обеспечивающие добычу и транспортировку полезных ископаемых, располагаются на основном транзите сети высокого напряжения. В этой связи все большую актуальность приобретает задача адекватного моделирования мощных ЧРП асинхронной нагрузки, что необходимо для правильной оценки необходимых запасов по динамической устойчивости при разработке схем развития электрической сети. Существует множество статей как в отечественной, так и в зарубежной литературе, посвященных вопросам моделирования ЧРП. Однако большая часть данных статей посвящена вопросам моделирования электромагнитных переходных процессов, при этом предлагаемые модели являются крайне громоздкими, реализуются с использованием пакета MatLab/Simulink, и не могут быть включены в схему большой энергосистемы без существенных трудозатрат. В статье предлагается упрощенная модель, которая позволит обеспечить адекватное моделирование ЧРП асинхронной нагрузки для исследования электромеханических переходных процессов. Предложенная модель была включена в блок динамики ПВК «АНАРЭС».

Для исследования электромеханической динамики ЧРП использовалась модель, приведенная в [1]. В процессе разработки данная модель была усовершенствована. В частности, были добавлены дополнительные алгоритмы, обеспечивающие термическую стойкость элементов силовой электроники инвертора, а также защита минимального напряжения (ЗМН) стороны постоянного тока.

Предварительно дадим краткие пояснения относительно основных физических принципов функционирования ЧРП. На рисунке 1 приведено схематическое изображение компонентов системы с ЧРП.

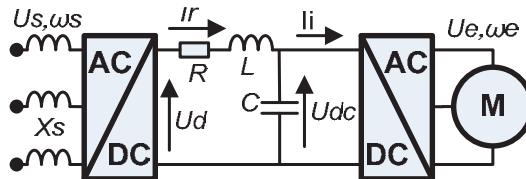


Рисунок 1 – Компоненты системы с ЧРП

Переменное напряжение сети U_s выпрямляется с использованием диодного или тиристорного выпрямителя (AC-DC преобразователь). Зависимость между питающим U_s и выпрямленным U_d напряжениями определяется по упрощенной формуле

$$U_d = \frac{3\sqrt{2}}{\pi} U_s \cos \varphi, \quad (1)$$

где φ – угол управления, для диодного выпрямителя $\varphi=0$.

Сторона постоянного тока содержит $R-L$ цепочку и емкость C , которые обеспечивают сглаживание напряжения U_d выпрямителя.

В качестве инвертора используется устройство с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) (DC-AC преобразователь). Зависимость между питающим напряжением постоянного тока U_{dc} и напряжением переменного тока, генерируемым ШИМ U_e определяется по упрощенной формуле

$$U_e = \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} m U_{dc}, \quad (2)$$

где m – индекс ШИМ.

Уравнение (2) справедливо при выполнении условия $0 \leq m \leq 1$.

Упрощения, вводимые в модель [1, 2], позволяют не только упростить описание, но и абстрагироваться от конкретной компонентной реализации устройств силовой электроники.

В качестве стратегии управления рассмотрим наиболее распространенный скалярный метод изменения частоты и амплитуды генерируемого ШИМ напряжения по закону $U_e/f_e = \text{Const}$, рисунок 2. При этом в модель дополнительно вводя следующие ограничения:

$$V_{e\min} < U_e < V_{e\max}; \omega_{e\min} < \omega < \omega_{e\max}. \quad (3)$$

Блок-схема, системы автоматического управления (САУ) ЧРП приведена на рисунке 2. ЧРП управляет с использованием пропорционально-интегрального регулятора (ПИ-регулятора), который (с учетом ограничений (3)) поддерживает постоянство соотношения U_e/f_e .

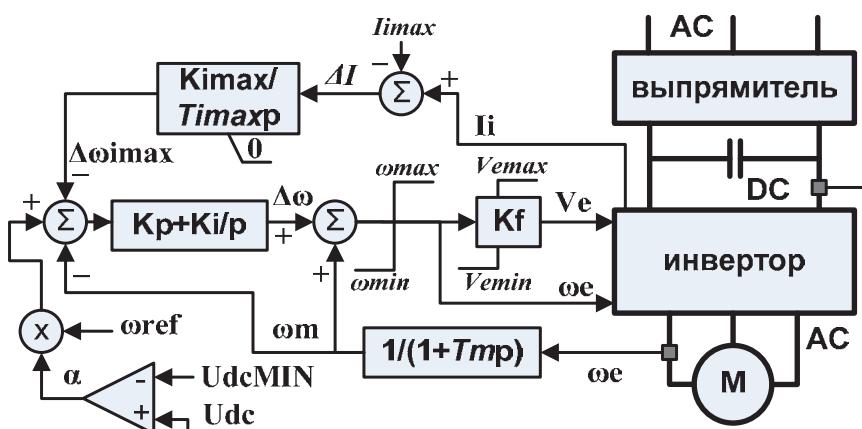


Рисунок 2 – Блок-схема системы автоматического управления ЧРП

Модель динамики ЧРП включает следующий набор дифференциально-алгебраических уравнений:

– дифференциальные уравнения (ДУ) ЧРП

$$\frac{dE'_q}{dt} = \omega_e \left[-sE'_d - \frac{E'_q - (X_0 - X')I_d}{T'_0} \right]; \quad (4)$$

$$\frac{dE'_d}{dt} = \omega_e \left[sE'_q - \frac{E'_d + (X_0 - X')I_q}{T'_0} \right]; \quad (5)$$

$$\frac{ds}{dt} = \frac{T_m(\omega) - T_e}{2H}; \quad (6)$$

$$\frac{dI_r}{dt} = \frac{1}{L} \left[U_{dc0} \cos \phi - \left(R + \frac{3X_s}{\pi} \right) I_r - U_{dc} \right]; \quad (7)$$

$$\frac{dU_{dc}}{dt} = \frac{1}{C} (I_r - I_i) = \frac{1}{C} \left(I_r - \frac{\sqrt{3}}{2\sqrt{2}} mI_d \right); \quad (8)$$

$$\frac{d(\Delta\omega_{i\max})}{dt} = \frac{\Delta I K_{IMAX}}{T_{IMAX}} = \frac{(I_i - I_{i\max}) K_{IMAX}}{T_{IMAX}}; \quad (9)$$

$$\frac{d\Delta\omega}{dt} = -\frac{K_p(\omega_e - \omega_m)}{T_m} - K_p \frac{d(\Delta\omega_{i\max})}{dt} + K_1 (\alpha\omega_{ref} - \omega_m - \Delta\omega_{i\max}); \quad (10)$$

$$\frac{d\omega_m}{dt} = \frac{\omega_e - \omega_m}{T_m}, \quad (11)$$

где I_r, I_i – токи выпрямителя и инвертора;

U_{dc} – напряжение стороны постоянного тока;

C, L, R, X_s – емкость, индуктивность, активное и реактивное сопротивления (рисунок 1);

K_i, K_p, K_{IMAX} – коэффициенты усиления звеньев САУ;

T_m, T_{IMAX} – постоянные времена САУ;

ω_e – угловая скорость питающего напряжения, генерируемого инвертором с ШИМ;

ω_{ref} – уставка ЧРП;

s – скольжение асинхронного двигателя;

$T_m(s), T_e$ – соответственно момент сопротивления и электрический моменты на валу асинхронного двигателя.

В качестве момента сопротивления в дальнейших расчетах была принята вентиляторная характеристика $T_m(\omega) = K\omega_{pom}^2$, которая соответствует механической характеристике приводов насосных станций. Квадратичная зависимость момента от скорости вращения свидетельствует о существенном возрастании нагрузки на двигатель при небольшом возрастании скорости вращения.

Алгебраические уравнения ЧРП:

$$I_d = -\frac{E'_q X' + r_s(E'_d - V_e)}{r_s^2 + X'^2}; \quad (12)$$

$$I_q = -\frac{E'_q r_s - X'(E'_d - V_e)}{r_s^2 + X'^2}. \quad (13)$$

Обозначения, принятые для дифференциальных уравнений (4)-(6), а также для алгебраических уравнений (12)-(13), являются общепринятыми и могут быть найдены, например, в [3].

ДУ (4)-(6) совместно с алгебраическими уравнениями (12),(13) описывают модель асинхронного двигателя третьего порядка [4]. ДУ (7)-(8) описывают динамику стороны постоянного тока. ДУ (9)-(11) описывают поведение САУ.

Алгоритм обеспечения термической стойкости элементов силовой электроники инвертора вводится в действие при условии превышения током инвертора I_i заданной величины $I_{i\max}$ (рисунок 2). Данный алгоритм ограничивает ток инвертора путем воздействия на уставку по частоте ЧРП, что позволяет резко ограничить активную мощность, потребляемую асинхронным двигателем.

Заштита минимального напряжения (ЗМН) стороны постоянного тока вводится в действие при условии снижения напряжения U_{dc} ниже заданного значения U_{dcMIN} . Соответствующее условие проверяется на компараторе (рисунок 2), который генерирует дискретное значение величины α , равное 0 или 1. В случае срабатывания, ЗМН обнуляет значение уставки ЧРП по частоте.

Тестовая схема для анализа предложенной модели ЧРП представляет собой мощный транзит напряжения 230 кВ (рисунок 3). В тестовой схеме большинство ветвей представляют собой эквивалент группы параллельно подключенных элементов сети (ЛЭП, трансформаторы или автотрансформаторы). Мощный асинхронный двигатель с номинальными параметрами 2 МВА 6 кВ подключен через ЧРП к узлу с номером 130. Параметры асинхронного двигателя, а также параметры ЧРП приведены в таблице 1.

Тестовые возмущения. Для демонстрации динамического поведения предложенной модели были выбраны следующие расчетные сценарии:

– Сценарий 1. Трехфазное металлическое КЗ на ВЛ 101-13 вблизи узла 13 в момент времени 1 сек. Отключение выключателя со стороны узла 13 в момент времени 0,16 сек. после возникновения КЗ. Отключение выключателя со стороны узла 101 в момент времени 0,6 сек. после возникновения КЗ. Настройки ЧРП: $V_{\text{emax}} = 1,1 \text{ о.е.}$; $V_{\text{emin}} = 0,1 \text{ о.е.}$; $\omega_{\text{emax}} = 345 \text{ рад/с.}$; $\omega_{\text{emin}} = 0 \text{ рад/с.}$; $I_{\text{imax}} = 0,1 \text{ кА.}$; $U_{\text{dcMIN}} = 0,5 \text{ о.е.}$

– Сценарий 2. Перерыв в электроснабжении ЧРП на 5 сек. с последующим восстановлением напряжения питания. Настройки ЧРП: $V_{\text{emax}} = 1,1 \text{ о.е.}$; $V_{\text{emin}} = 0,1 \text{ о.е.}$; $\omega_{\text{emax}} = 345 \text{ рад/с.}$; $\omega_{\text{emin}} = 0 \text{ рад/с.}$; $I_{\text{imax}} = 0,1 \text{ кА.}$; $U_{\text{dcMIN}} = 0,5 \text{ о.е.}$

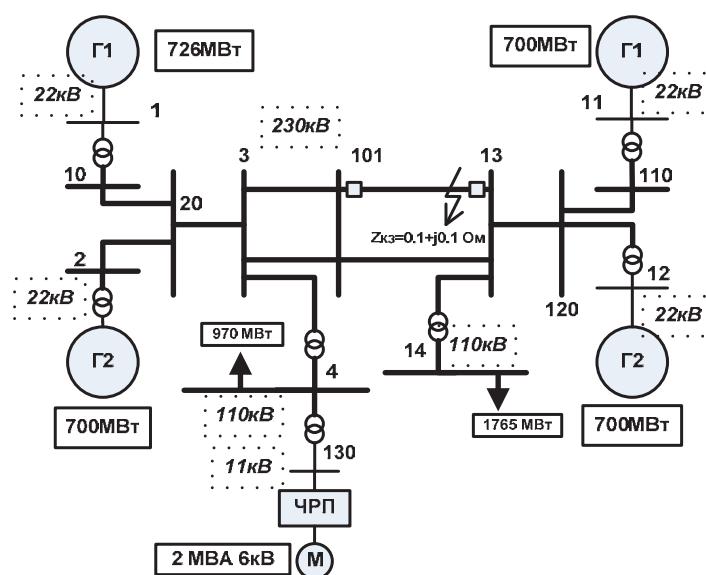


Рисунок 3 – Тестовая схема

вариант модели не была включена специальная защита, ликвидирующая броски тока выпрямителя, что необходимо для обеспечения термической стойкости диодов (тиристоров). Данная защита может воздействовать на угол управления (выпрямитель на тиристорах), либо временно вводить дополнительное сопротивление в цепь постоянного тока, ограничивая тем самым ток емкости (как для тиристорных, так и для диодных выпрямителей). Применение ЧРП исключает возможность опрокидывания двигательной нагрузки.

Таблица 1 – Тестовые параметры асинхронного двигателя и ЧРП

Параметры асинхронного двигателя	$S_{\text{ном}}$	2 МВА
	$f_{\text{ном}}$	50 Гц
	$U_{\text{ном}}$	6 кВ
	R_s	0,001 о.е.
	L_s	0,01 о.е.
	L_m	3 о.е.
	R_r	0,01 о.е.
	L_r	0,01 о.е.
	R	0,1 Ом
	L	0,5 Гн
Параметры ЧРП	X_s	1 Ом
	φ	0 (диодный выпрямитель)
	H	1 с
	C	0,02 Ф
	ω_{ref}	3314 рад/с
	K_p	10
	K_I	3
	K_{Imax}	1000
	T_{Imax}	0,1 с
	T_m	0,1 с

Анализ осциллограмм для сценария 1 (рисунок 4). Даже при длительных тяжелых КЗ вблизи ЧРП, мощность и скольжение двигателя не изменяются. При снижении напряжения в питающей сети, недостающая мощность в течение короткого времени будет поступать из емкости на стороне постоянного тока // как правило, энергия, запасенная в конденсаторе, может обеспечивать бесперебойную работу ЧРП в течение существенно меньшего промежутка времени (порядка 0,1 с). Однако существуют технические решения, которые позволяют вводить аккумуляторные батареи в цепь постоянного тока при кратковременном исчезновении питающего напряжения. В любом случае, точные динамические характеристики ЧРП должны подбираться отдельно для каждого конкретного случая //. После восстановления напряжения, в первый момент времени происходит перезарядка емкости, что приводит к броску тока и активной мощности выпрямителя. В текущий

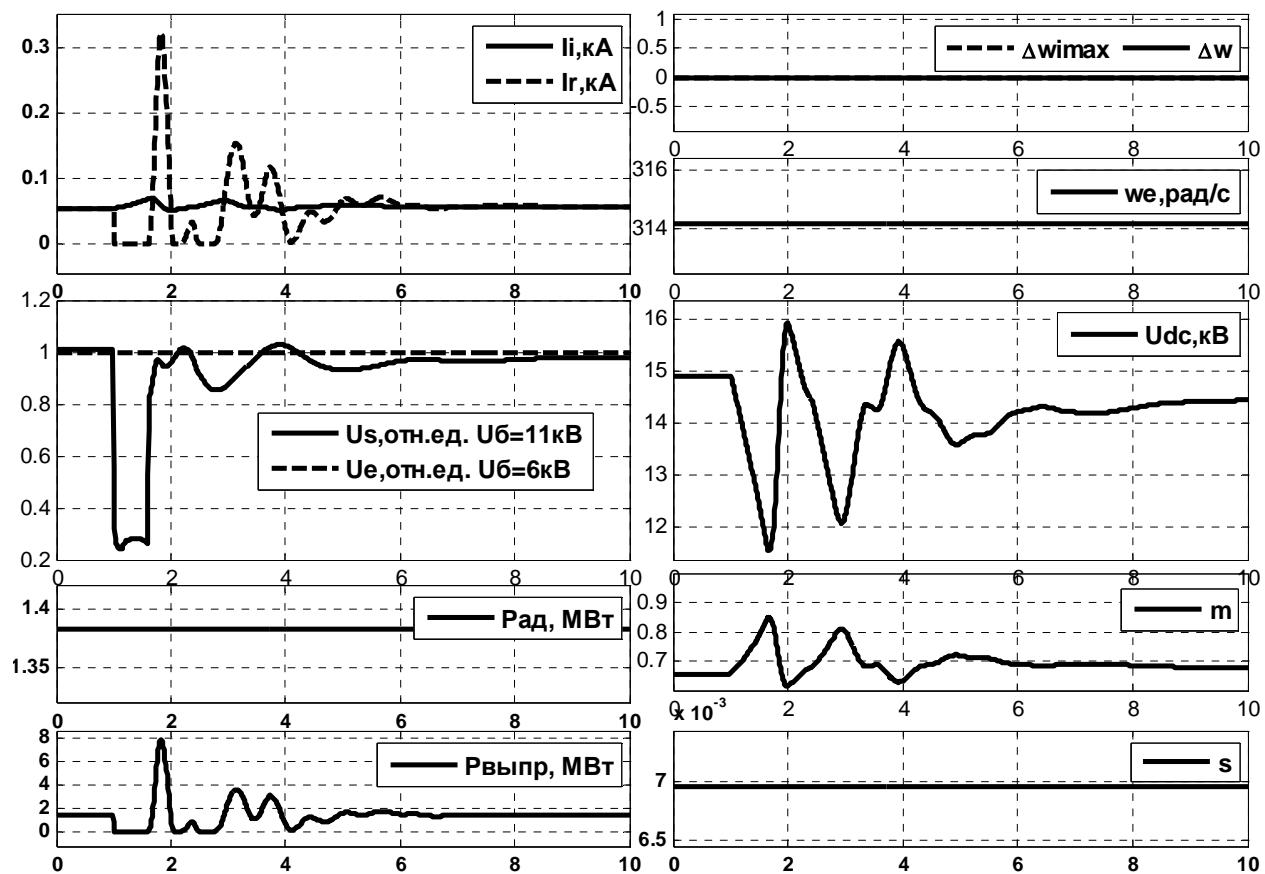


Рисунок 4 – Осциллографмы Сценарий 1. Трехфазное металлическое КЗ на ВЛ 101-13 вблизи узла 13

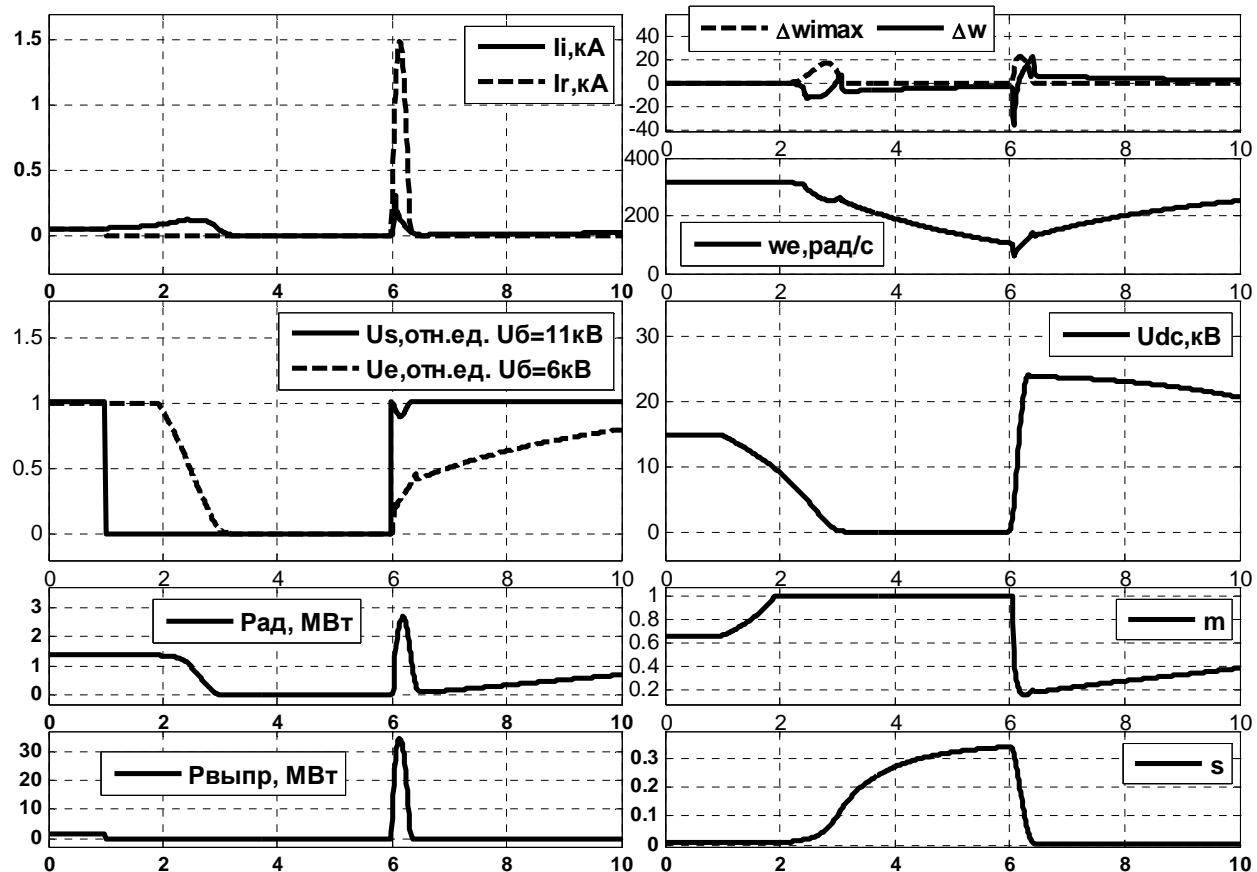


Рисунок 5 – Осциллографмы Сценарий 2. Перерыв в электроснабжении ЧРП на 5 с, с последующим восстановлением напряжения питания

Анализ осцилограмм для сценария 2 (рисунок 5). Спустя примерно 1 с после возникновения КЗ напряжение на асинхронном двигателе начинает резко снижаться, при этом ток инвертора возрастает до окологранических значений, что, в свою очередь, приводит к срабатыванию автоматики, обеспечивающей термическую стойкость элементов инвертора. Работа автоматики в интервале времени, примерно, со второй по третью секунду приводит к снижению скорости вращения асинхронного двигателя. Примерно с третьей секунды ток двигателя резко снижается, приближаясь к нулю, это блокирует дальнейшую работу автоматики, ограничивающей ток инвертора. Снижение напряжения на стороне постоянного тока запускает ЗМН, которая обнуляет уставку по частоте и приводит к дальнейшему плавному снижению частоты, генерируемой инвертором. В момент времени 6 с, происходит восстановление напряжения питания, что вызывает резкий скачок тока и мощности выпрямителя (в модель не была включена автоматика, ограничивающая токовую перегрузку выпрямителя), ток инвертора вновь ограничивается автоматикой ограничения перегрузки. С момента времени примерно 6,5 с. начинается плавное восстановление нормальной работы ЧРП. Очевидно, что при этом опрокидывание двигателя будет исключено.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Del Rosso, A.D. Stability Assessment of Isolated Power Systems with Large Induction Motor Drives / A.D. Del Rosso, M. Anello, E. Spittle // Transmission & Distribution Conference and Exposition: Latin America, 2006. TDC '06. IEEE/ PES, 15-18 Aug. - 2006.
- 2 Kundur, P. Power System Control and Stability, Mc Graw Hill / P. Kundur. -1994.
- 3 Brereton, D.S. Representation of induction-motor loads during power-system stability studies / D.S. Brereton , D.G. Lewis , C.C. Young // Power Apparatus and Systems. Pt. III. Transactions of the American Institute of Electrical Engineers, April. -1957. -Vol. 76, №3. -P. 451-460.
- 4 Suharshan, D. A study on influence of induction motor model on power system stability / D. Suharshan , A. Pathon , K. Yoshihiko // The International Conference on Electrical Engineering 2008, July 6-10, , Okinawa, Japan.-2008.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: моделирование, частотно-регулируемый привод, асинхронный двигатель, расчеты электромеханических переходных процессов

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Панасецкий Даниил Александрович, канд. техн. наук, научный сотрудник ИСЭМ СО РАН
Осак Алексей Борисович, научный сотрудник ИСЭМ СО РАН

Бузина Елена Яковлевна, старший инженер ИСЭМ СО РАН

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664033, г.Иркутск, ул.Лермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН

АНАЛИЗ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЖИМНОЙ АВТОМАТИКИ С ФУНКЦИЯМИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева СО РАН

А.Б. Осак, Д.А. Панасецкий, Е.Я. Бузина, А.И. Шалагинов

REAL TIME SECURITY ANALYSIS WITH PREDICTION FUNCTIONS FOR INTELLIGENT DEVICES OF SECURE AUTOMATION

Melentiev energy systems institute

A.B. Osak, D.A. Panasetskiy, E.Ya. Buzina, A.I. Shalaginov

In this paper we propose methods of real time security analysis of electric power system (EPS) with prediction functions. Thees methods can be implemented in intelligent devices for emergency and secure control of EPS. The authors have developed approaches and algorithms for the automatic creation of a voltage control system of local grid. Algorithms include the coordination function of local voltage regulators, and emergency control regime.

Keywords: regime reliability, rapid analysis, relay protection, emergency control, short-range forecasting

Предложены методы анализа режимной надежности в реальном времени с прогнозированием поведения энергосистемы для интеллектуальных устройств режимной и противоаварийной автоматики. Разработаны подходы и алгоритмы создания автоматического группового регулятора напряжения (ГРН) для энергорайона с функцией координации уставок локальных регуляторов источников реактивной мощности, режимной и противоаварийной автоматики.

Электроэнергетическая система России в целом, а энергосистемы регионов Сибири и Дальнего Востока в особенности, характеризуются протяженными воздушными линиями (ВЛ) электропередачи, сочетанием крупных и мелких потребителей, расположенных на

больших расстояниях друг от друга и от генерирующих источников. Как правило, электрическая сеть данных регионов России имеет незначительное резервирование, вследствие чего перетоки мощности в контролируемых сечениях ограничиваются максимально допустимыми перетоками (МДП) по критериям устойчивости даже при наличии противоаварийной автоматики (ПА). В некоторых энергорайонах в нормальном режиме работы эксплуатация электропередач осуществляется при перетоках, близких к МДП.

В таких условиях актуальной становится задача поддержания допустимых уровней напряжения на подстанциях при изменении режимных условий в широком диапазоне, в том числе, в послеаварийных режимах. Для решения данной задачи массово устанавливаются плавно и дискретно управляемые источники реактивной мощности (ИРМ): статические тиристорные компенсаторы (СТК), управляемые шунтирующие реакторы (УШР), батареи статических конденсаторов (БСК) и другие устройства.

Для минимизации затрат на электросетевое строительство (строительство и реконструкцию ВЛ, установку ИРМ) предлагается помимо локальных регуляторов напряжения (ЛРН) и локальных устройств противоаварийной автоматики (ЛПА) создавать автоматические групповые регуляторы напряжений для энергорайона с функцией координации локальных регуляторов и локальной ПА. Общая идея заключается в получении системного эффекта от совместного и согласованного использования управляемого оборудования нескольких энергообъектов в отдельных тяжелых и критических режимах. Ожидается, что такие групповые регуляторы районного масштаба позволят уменьшить избыточное электросетевое строительство ВЛ, сократят необходимые объемы ввода в эксплуатацию установок ИРМ с низким числом часов использования (использование либо в пиковых режимах, либо в минимальных режимах), а также повысят пропускную способность существующих электрических сетей.

В тоже время, задачи обеспечения устойчивости требуют либо превентивного управления ИРМ до возникновения аварийной ситуации, либо их быстрого управления в аварийном и послеаварийном режиме. При этом существующие принципы организации ЛРН и ЛПА (типа АОСН) не обеспечивают требуемого быстродействия для обеспечения устойчивости ввиду необходимости их отстройки от снижения напряжения во время КЗ и цикла АПВ. Соответственно необходимы более адаптивные и интеллектуальные принципы управления и координации.

Анализ режимной ситуации и формирование управляющих воздействий лишь по замеренным данным (которые в любом случае поступают с неким запозданием) является причиной замедленной реакции систем управления на поведение ЭЭС, что в свою очередь предъявляет завышенные требования к запасам по статической и динамической устойчивости, а также снижает общую эффективность автоматизированных и автоматических систем управления. Таким образом, задача краткосрочного прогнозирования для целей управления, безусловно, является актуальной.

В настоящей работе авторами рассматривается применение методов анализа режимной надежности в реальном времени с прогнозированием поведения энергосистемы для интеллектуальных устройств на примере создания интеллектуального автоматического группового регулятора напряжения (ГРН) для энергорайона с функцией координации локальных регуляторов ИРМ (для УШР, СТК и др.) и локальной ПА типа автоматики ограничения снижения напряжения (АОСН), автоматики ограничения повышения напряжения (АОПН) и автоматики управления реактором (АУР).

Основная идея заключается в том, что групповой регулятор, используя методы анализа режимной надежности, определяет согласованные уставки локальных регуляторов и локальной ПА, выполняя только функции верхнего уровня автоматической системы управления. В случае недостаточной селективности и чувствительности у локальных автоматик, возможно применение специальной режимной автоматики, контролирующей не только локальные режимные параметры, но и фиксирующей аварийные события (отключение элементов сети) с учетом ремонтных режимов.

Предлагаемый групповой регулятор напряжений для энергорайона представляет собой вычислительный комплекс, установленный на узловой подстанции или в диспетчерском пункте, работающий в автоматическом режиме, оснащенный цифровыми каналами связи с локальными регуляторами ИРМ и локальной ПА на энергообъектах. Источниками информации о текущих режимах может выступать:

- система сбора и передачи информации (ССПИ), используемая для ПА;
- системы телемеханики для районных и региональных диспетчерских пунктов.

В нормальном режиме работы ГРН выполняет в реальном времени расчеты уставок и передает их по каналам связи в ЛРН и ЛПА на энергообъекты. При нарушении работы каналов связи, спустя заданную выдержку времени, ЛРН и ЛПА переходят на заранее заданные уставки. Также в ЛРН и ЛПА осуществляется контроль допустимости значений, получаемых от ГРН уставок.

Общий функциональный состав ГРН и общий алгоритм его работы были показаны в [1]. Подходы к созданию распределенных систем повышенной надежности были рассмотрены в [2].

На функциональном уровне ГРН состоит из следующих подсистем:

- подсистема сбора телематической информации, и ее первичной обработки;
- подсистема оценивания состояния (ОС);
- подсистема анализа режима, расчета уставок и выработки управляющих воздействий (УВ) на смену уставок ЛРН и ЛПА;
- подсистема выдачи УВ и анализа фактической работы ЛРН и ЛПА;
- общая информационная платформа ГРН.

Далее будет подробно рассмотрена только подсистема анализа режима в составе ГРН, так как именно в ней выполняется анализа режимной надежности в реальном времени с функциями прогнозирования поведения [3]. Задача краткосрочного прогнозирования для целей анализа режимной надежности в реальном времени подразделяется на две подзадачи:

- подзадача краткосрочного прогнозирования параметров режима;
- подзадача краткосрочного прогнозирования поведения системы.

При решении задачи краткосрочного прогнозирования поведения системы для целей анализа режимной надежности в реальном времени можно выделить следующие составляющие:

- прогнозирование поведения систем управления и регулируемых ими элементов;
- прогнозирование аварий и отказов с учетом вероятности отказов отдельных элементов ЭЭС.

Подсистема анализа режима для актуализированной расчетной схемы, полученной из подсистемы ОС и верифицированной по специальным алгоритмам, выполняет:

– оценку режима по качественным критериям, основанным на формальных логических правилах, с последующей его классификацией (нормальный, ремонтный, аварийный, постэвакуационный, вынужденный и т.п.);

– оценку режима по количественным критериям, с последующей его классификацией (нормальный, аварийный, вынужденный и т.п.). К таким критериям можно отнести: устойчивость к набору нагрузки с учетом ограничений (определяется методом утяжеления); оценку резервов по реактивной мощности при утяжелении режима; оценку резервов по реактивной мощности по критерию N-1 (отключение ИРМ или отключение секций шин с ИРМ);

– оценку режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС (рисунок);

– обобщенную классификацию режима на основании качественной и количественной оценки.

Выполняется сверка полученной классификации для разных расчетных схем (для дополнительной верификации результатов), после чего выполняется многокритериальный расчет оптимальных уставок ЛРН и ЛПА. В зависимости от классификации режима, оптимальные уставки ЛРН и ЛПА будут определяться путем оптимизации режима по разным критериям:

– в нормальном режиме снижаются потери, оценивается и повышается режимная надежность;

– в тяжелом режиме выполняется ввод в допустимую область (ввод режима в допустимую область по напряжению с учетом ограничений по перегрузке оборудования);

– в вынужденном режиме обеспечиваются резервы быстрого управления для повышения надежности и устойчивости ЭЭС в целом и устойчивости узлов нагрузки. При этом выполняется оценка надежности режима (перебор нормативных возмущений в сети с оценкой допустимости/недопустимости послеаварийного режима, в случае недопустимости послеаварийного режима осуществляется совместный ввод послеаварийного и исходного режима в допустимую область).

При этом выполняется совместная оценка нескольких вариантов оптимизации режима и сопоставление УВ. При оптимизации учитывается состояние управляемых элементов сети,

ресурсами их управления, состояние ЛРН и ЛПА. Осуществляется минимизация ресурсоемких УВ (отключение выключателей БСК и ШР, переключения РПН). Выполняется оценка волатильности режимных параметров для исключения многократных переключений выключателей и РПН. Осуществляется формирование оптимальных УВ в соответствии с рассмотренными выше критериями. На основании комплексной оптимизации и выбора оптимальных УВ рассчитываются оптимальные уставки ЛРН и ЛПА для их последующей передачи на объекты.

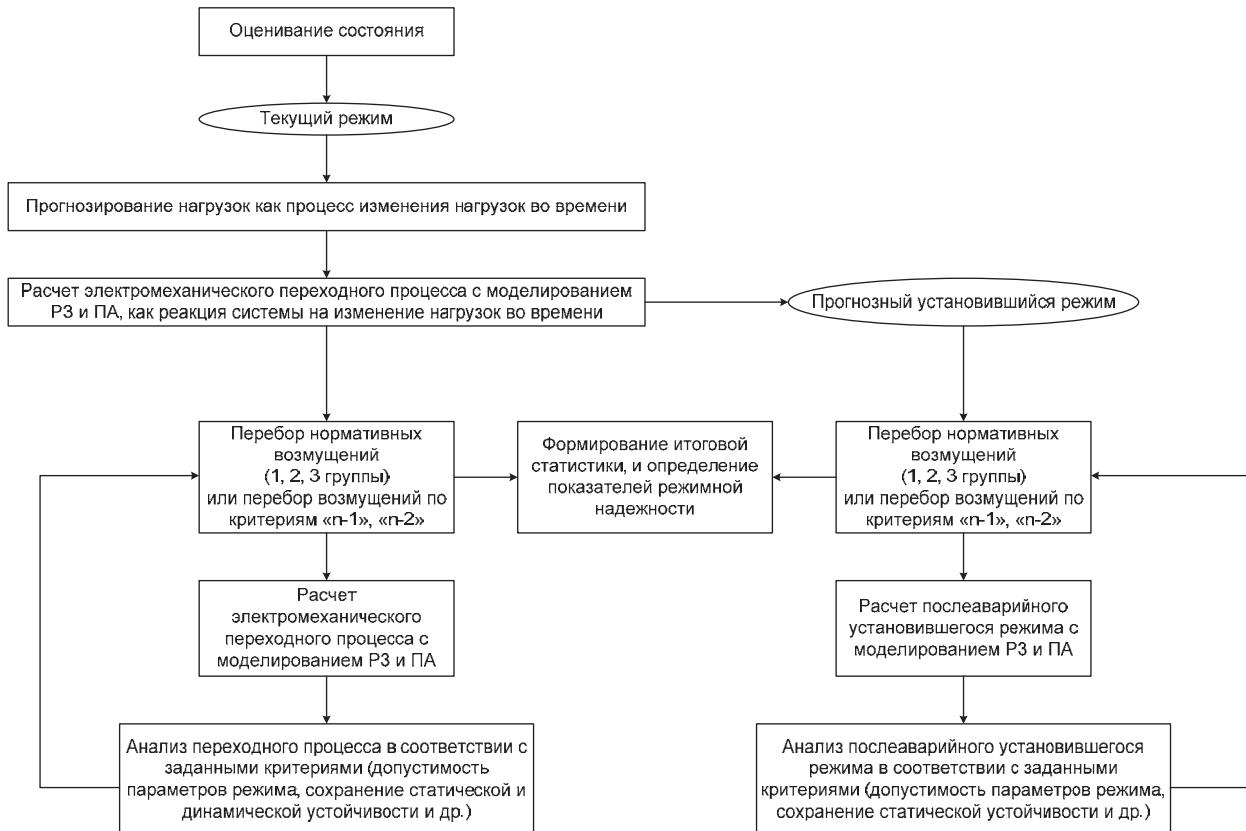


Рисунок – Алгоритм анализа режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования поведения ЭЭС

Для верификации рассчитанных уставок выполняется моделирование рассчитанных уставок ЛРН и ЛПА на разных расчетных схемах, моделируется возникновение нормативных возмущений. Выполняется оценка достижения эффекта по разным критериям. Оценка совокупной эффективности от смены уставок ЛРН и ЛПА. В случае неудачи может потребоваться итеративный перебор для гармонизации взаимопротиворечивых УВ по разным критериям.

В настоящее время разрабатывается лабораторный прототип системы, в соответствии с предложенным подходом к созданию автоматического ГРН для энергорайона с функцией координации ЛРН и ЛПА. При разработке особое внимание уделяется вопросам надежной работы программных блоков, функциям их самодиагностики. Предполагается, что разрабатываемая система должна работать без участия обслуживающего персонала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Подходы к созданию автоматического группового регулятора напряжений для энергорайона с функцией координации локальной ПА / Н.И. Воропай, А.Б. Осак, А.В. Домышев, Д.А. Панасецкий, Е.Я. Бузина // Сборник докладов XXI конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем», Москва, 29-31 мая 2012. -С. 373-378.

2 Осак, А.Б. Создание распределенных систем автоматизированного и автоматического управления нового поколения в электроэнергетике / А.Б. Осак, Е.Я. Бузина // Энергетика глазами молодежи. В 2 т.: науч. тр. всерос. науч.-техн. конф.: сб. ст. / УрФУ. -Екатеринбург, 2010. -Т.1. -С. 324-328.

3 Методы экспресс-анализа в задаче оценки режимной надежности с учетом краткосрочного прогнозирования поведения системы / А.Б. Осак, А.И. Шалагинов, А.В. Домышев, Д.А. Панасецкий, Е.Я. Бузина // Сборник докладов международной конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем», Екатеринбург, 3-7 июня 2013 г.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проек-

тированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: режимная надежность, экспресс-анализ, релейная защита, противоаварийная автоматика, краткосрочное прогнозирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Осак Алексей Борисович, научный сотрудник ИСЭМ СО РАН
Панасецкий Даниил Александрович, канд. техн. наук, научный сотрудник ИСЭМ СО РАН

Бузина Елена Яковлевна, старший инженер ИСЭМ СО РАН
Шалагинов Александр Иннокентьевич, ведущий инженер ИСЭМ СО РАН

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 664033, г.Иркутск, ул.Пермонтова, 130, ИСЭМ СО РАН

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 110-220 кВ НА БАЗЕ ВАКУУМНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАЗРЯДНИКОВ

ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

В.А. Воронин, И.А. Иванов, Д.Р. Любарский, А.М. Косолапов, А.А. Акинин

POTENTIAL SOLUTIONS FOR SHORT CIRCUIT CURRENT AND TRANSIENT RECOVERY VOLTAGE LIMITATION IN 110-220 kV POWER NETWORKS WITH USE OF TRIGGERED VACUUM SPARK GAPS

Institute ENERGOSETPROJECT

V.A. Voronin, I.A. Ivanov, D.R. Lyubarskiy, A.M. Kosolapov, A.A. Akinin

This paper presents solutions for short circuit current and transient recovery voltage limitation in 110-220 kV power networks in the connection with use of triggered vacuum spark gaps.

Keywords: short circuit current, transient recovery voltage, vacuum controlled dischargers

Представлены решения по одному из перспективных направлений по ограничению токов короткого замыкания и переходных восстанавливающихся напряжений в сетях 110-220 кВ, связанные с использованием вакуумных управляемых разрядников.

Развитие мегаполисов привело к значительной концентрации энергопотребления на небольших площадях. Для удовлетворения потребностей в электроэнергии вводятся новые генерирующие мощности, узлы распределения и линии электропередачи, что приводит к значительному росту токов коротких замыканий (ТКЗ).

Так, в настоящее время в Москве и Московской области существуют подстанции, у которых величины ТКЗ на шинах превышают номинальные токи отключения выключателей или будут превышать эти значения в ближайшем будущем. Проведенные расчеты ТКЗ на перспективу до 2015 г. [1] показали, что в полностью замкнутой электрической сети Московской энергосистемы значения токов КЗ на шинах 110-220 кВ крупных станций, подстанций увеличатся до 120-140 кА.

Для координации ТКЗ используются [2]:

- оптимизация структуры сети и ее параметров (схемные решения);
- переход на новую ступень по параметрам коммутационных аппаратов;
- стационарное и автоматическое (аварийное) секционирование сети;
- опережающее деление сети (ОДС);
- применение токоограничивающих реакторов (ТОР) и токоограничивающих устройств (ТОУ).

Оптимизация структуры и параметров электрических сетей и генерирующих мощностей станций для ограничения роста уровня токов КЗ может быть обеспечена во вновь строящихся районах энергопотребления.

При реконструкции существующих энергосистем ограничение уровня ТКЗ только за счет оптимизации схемных решений практически невозможно, поэтому используются различные сочетания указанных выше технических решений.

Установка силового оборудования следующей ступени является весьма дорогостоящей мерой и в ряде случаев позволяет решить проблему. Однако имеющиеся планы по реконструкции (в том числе по замене выключателей) не соответствуют темпам роста ТКЗ. Кроме того, согласно расчетам на 2015 г., на наиболее крупных объектах 220 кВ даже установка выключателей с номинальным током отключения 80 кА окажется неэффективной. При этом должна быть выполнена оценка характера и уровней возникающих переходных восстанавливающихся напряжений (ПВН) на контактах выключателей при их отключении [3].

Мероприятия, связанные с секционированием и опережающим делением сети, в значительной мере распространены, но они, как правило, связаны с увеличением потерь, снижением надежности функционирования системы электроснабжения. Кроме того, с развитием сети такие меры становятся недостаточно эффективными.

Современные токоограничивающие устройства (ТОУ) [4] должны обеспечивать:

- ограничение тока КЗ и переходных восстанавливающих напряжений (ПВН);
- высокое быстродействие при включении и отключении (до единиц мс);
- стабильные характеристики, отсутствие влияния на нормальный режим работы сети (на уровень напряжений);
- отсутствие нелинейных искажений напряжения и тока в нормальном режиме работы сети;
- работу при многократном АПВ;
- интеграцию в качестве сетевого элемента в общую систему управления и защиты.

Однако существующие типы ТОУ «привязаны» к топологии сети, могут иметь значительное потребление мощности в нормальном режиме и оказывать неблагоприятное влияние на переходное восстанавливающееся напряжение (ПВН) при отключении выключателей, требуют значительных площадей для установки. Эти недостатки существенно ограничивают эффективность их применения, особенно в условиях плотной застройки мегаполисов, где существует острый дефицит в свободной земельной площади.

Новое направление в управляемых токоограничивающих устройствах (ТОУ) связано со значительным прогрессом в развитии силовой электроники, вакуумных и импульсных технологий и появлением мощных коммутационных аппаратов на базе управляемых вакуумных разрядников (РВУ) [5].

РВУ представляют собой безнакальный трехэлектродный герметизированный прибор с давлением остаточных газов не более 10^{-4} Па. Основным элементом РВУ является электродная система, содержащая два основных и один управляющий электроды. Электродная система размещается в герметизированном корпусе, который выполняет также функции изолятора. Управляющий электрод устанавливается на одном из основных электродов и отделяется от него с помощью диэлектрической вставки. Комбинация управляющего электрода с диэлектрической вставкой называется узлом запуска. Расстояние между основными электродами всегда фиксировано и определяется требуемой электрической прочностью вакуумного промежутка. Разрядник содержит также экранную систему, которая защищает внутренние стенки корпуса от металлизации продуктами эрозии основных электродов. Включение РВУ осуществляется подачей пускового импульса напряжения на управляющий электрод.

Перспективы использования РВУ обусловлены такими их преимуществами по сравнению с другими типами коммутирующих устройств, как возможность практически мгновенного (до 100 мкс) включения в широком диапазоне рабочих напряжений и токов, высокая стойкость к аварийным воздействиям и сравнительно низкая стоимость по сравнению газоразрядными и полупроводниковыми приборами.

В рамках инновационной программы ОАО «ФСК ЕЭС» ОАО «Институт «Энергосетьпроект» совместно с ФГУП «ВЭИ» осуществляют разработку «Системы ограничения токов КЗ и переходных восстанавливающихся напряжений в сетях 110-220 кВ на основе управляемых вакуумных разрядников» (СОТ-РВУ).

Отмеченные свойства РВУ позволяют реализовать СОТ-РВУ с уникальными и по существу не имеющими аналогов свойствами по снижению ударного тока в поврежденном присоединении и ограничению переходных восстанавливающихся напряжений на контактах выключателя при отключении последнего.

СОТ-РВУ реализована с использованием группы вакуумных управляемых разрядников (РВУ) [6], и состоит из следующих основных частей:

- высоковольтного быстродействующего коммутатора (ВБК);
- токовых пусковых органов (ТПО);
- системного блока управления (СБУ).

ВБК представляет собой группу последовательно/параллельно соединенных РВУ (рисунок 1) вместе со своими блоками запуска (БЗ). Для измерения тока, проходящего через ВБК, включается специальный шунт R_w .

Используемый РВУ имеет следующие основные параметры: номинальное напряжение –

35 кВ, ток отключения – 40 кА. Для обеспечения требований технического задания по прочности изоляции и высокой надежности в нормальном режиме каждая ветвь ВБК содержит 4 последовательно соединенных РВУ. Требуемый ток отключения в 80 кА обеспечивается одновременным включением двух параллельных ветвей. Собственное время включения ВБК не превышает 100 мкс.

Система управления ВБК обеспечивает формирование синхронных сигналов пуска на соответствующие блоки запуска РВУ в зависимости от полярности тока, который надо пропустить.

ТПО должны устанавливаться на присоединениях, по которому может протекать «опасный» ТКЗ. При наличии обходного выключателя, ТПО должен устанавливаться и на нем.

Реализованные в ТПО алгоритмы и программно-технические решения обеспечивают быстрое (до 3 мс) выявление «опасных» ТКЗ в условиях насыщения обычных трансформаторов тока класса 10Р (рисунок 2), а также логику работы с выключателем присоединения.

Системный блок управления обеспечивает логику взаимодействия всех модулей СОТ-РВУ и связь с АСУ ТП энергообъекта.

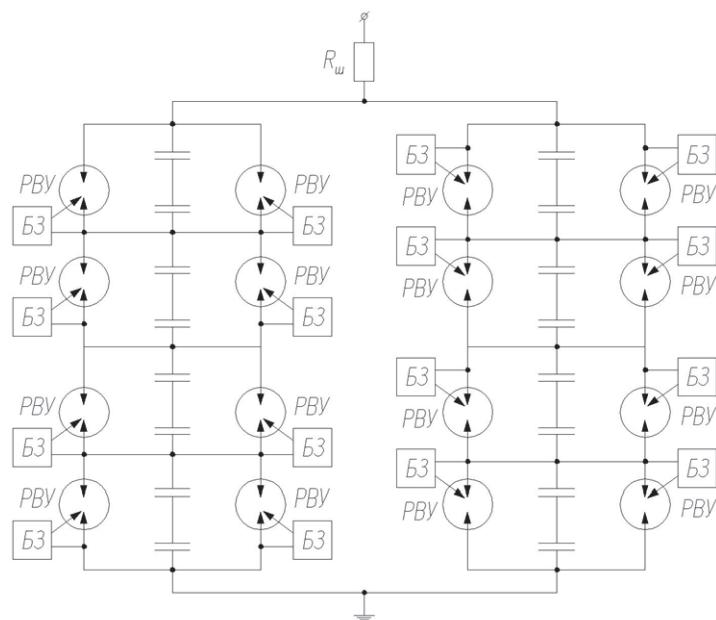


Рисунок 1 – Принципиальная схема ВБК на номинальное напряжение 110 кВ и ток отключения 80 кА

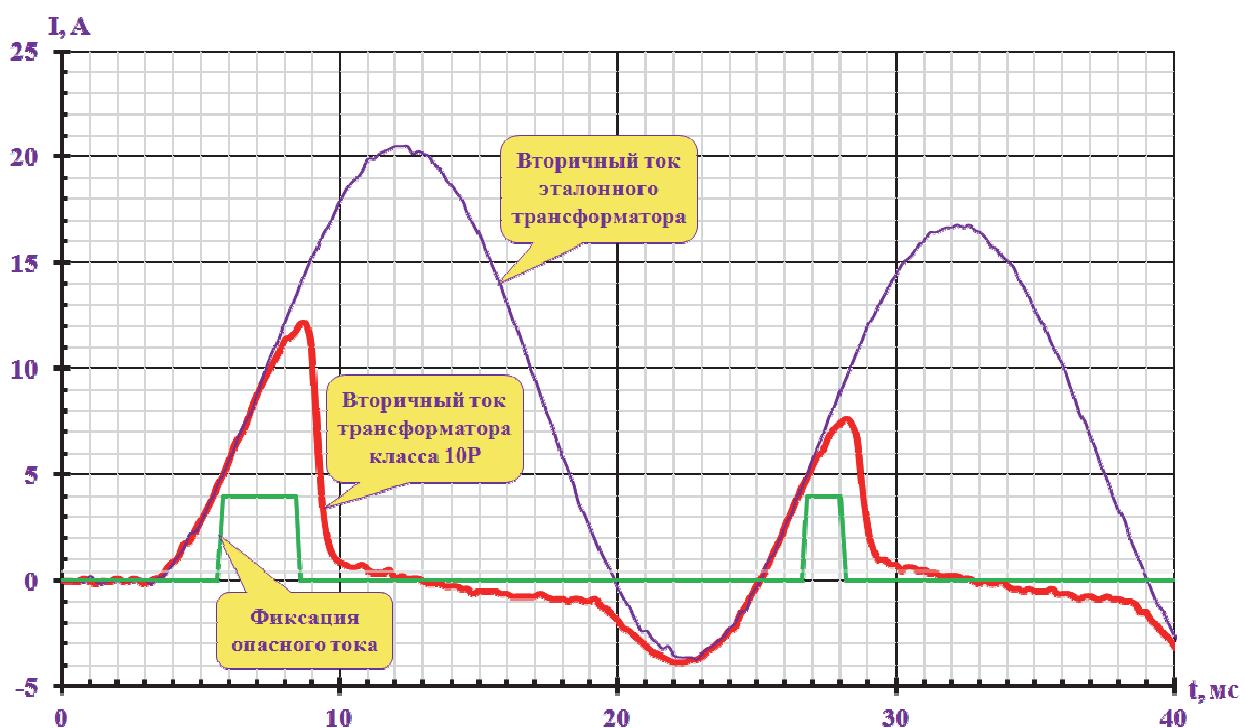


Рисунок 2 – Выявление опасного тока в условиях насыщения трансформаторов тока

Все цифровые модули СОТ-РВУ и линии связи между ними охвачены системой непрерывной диагностики.

Принцип ограничения ТКЗ в поврежденном присоединении основан на перераспределении ТКЗ между точкой КЗ и местом включения ВБК во время работы ВБК [7] (рисунок 3 и 4).

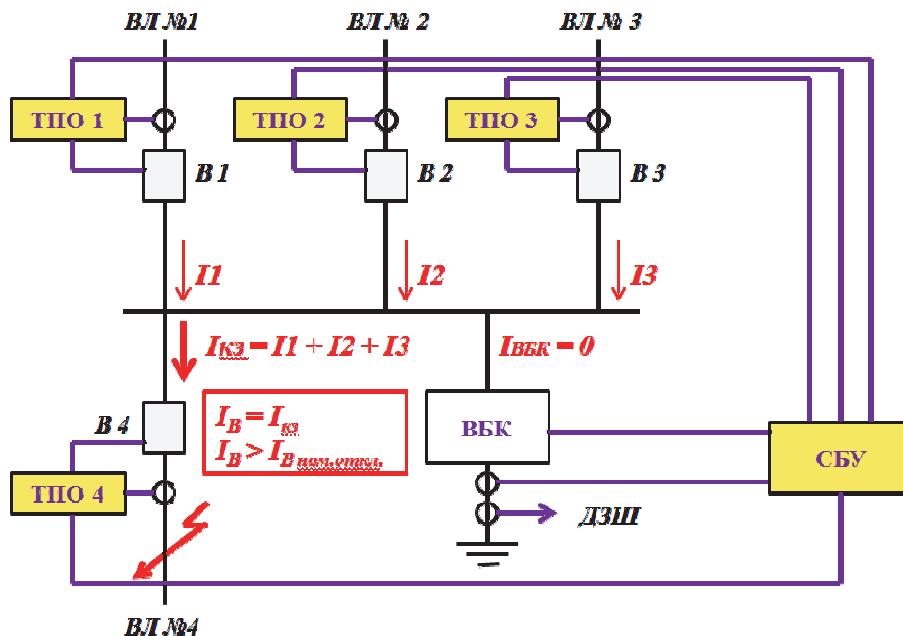


Рисунок 3 – Распределение ТКЗ при отключенном состоянии ВБК

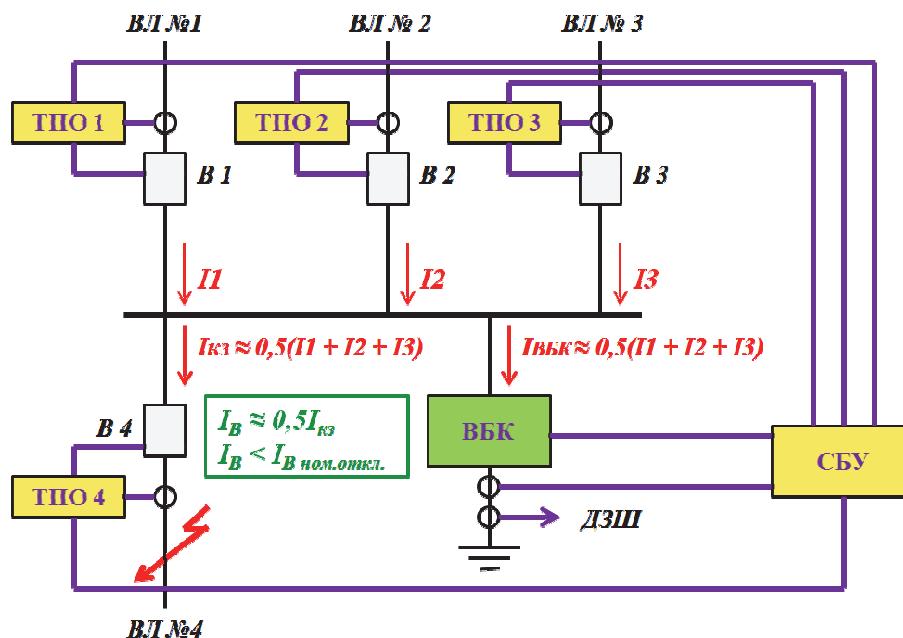


Рисунок 4 – Распределение ТКЗ при включенном состоянии ВБК

ТПО контролирует величину тока в присоединении и при срабатывании формирует два сигнала: сигнал пофазного включения ВБК, который подается в системный блок управления (СБУ) и сигнал запрета отключения выключателя, который блокирует действие РЗ присоединения. Сигнал включения ВБК через СБУ поступает в систему управления ВБК.

Успешное включение ВБК фиксируется в СБУ, который передает сигнал о включении ВБК на ТПО поврежденного присоединения, и последний формирует команду отключения выключателя.

После подтверждения отключения выключателя сигнал включения снимается с блоков поджига ВБК, и через время не более 20 мс ток через ВБК прекращается.

СБУ контролирует состояние ВБК и при выявлении отказа ВБК (под отказом понимается

его включённое состояние при отсутствии сигнала пуска или отключённое состояние при наличии сигнала пуска в течение заданного времени) формирует сигнал отказа ВБК, который может использоваться, например, для отключения секции шин через ее дифференциальную защиту.

Временная диаграмма нормального цикла работы СОТ-РВУ приведена на рисунке 5.

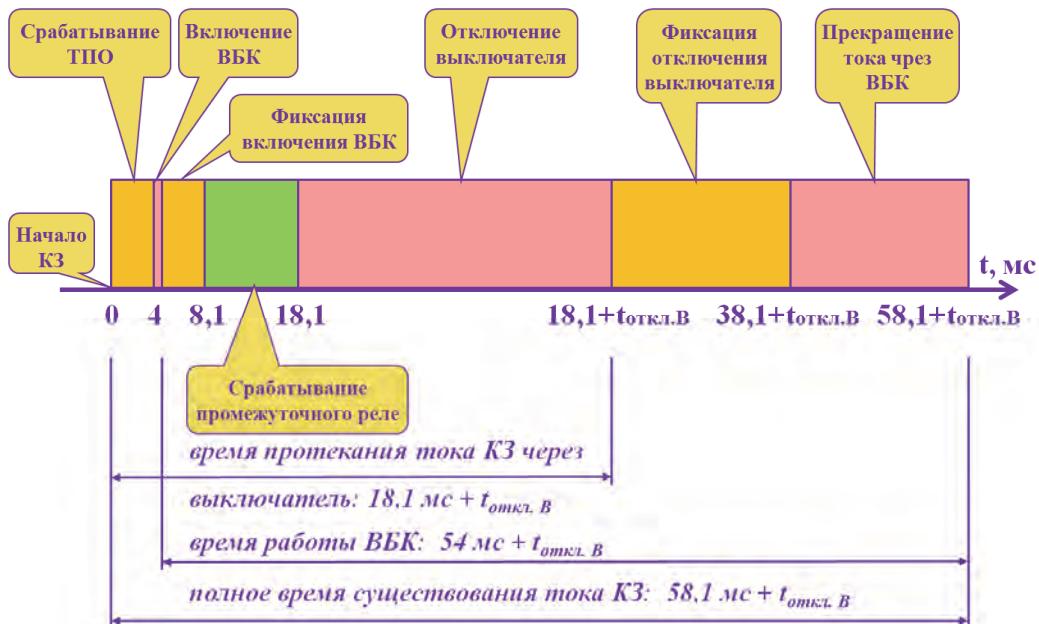


Рисунок 5 – Временная диаграмма работы СОТ-РВУ

Согласно результатам моделирования распределения токов (рисунок 6) по фактическим данным ПС 220 кВ Радищево, быстрое включение ВБК обеспечит снижение ударного тока в выключателе примерно на 37%. После затухания апериодической составляющей (постоянная составляет около 10 мс) ток через ВБК и ток через выключатель практически сравняются.

К настоящему времени в ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» и ФГУП ВЭИ успешно проведены испытания элементов СОТ-РВУ. Ведется подготовка проектных решений по установке СОТ-РВУ на пилотном объекте.

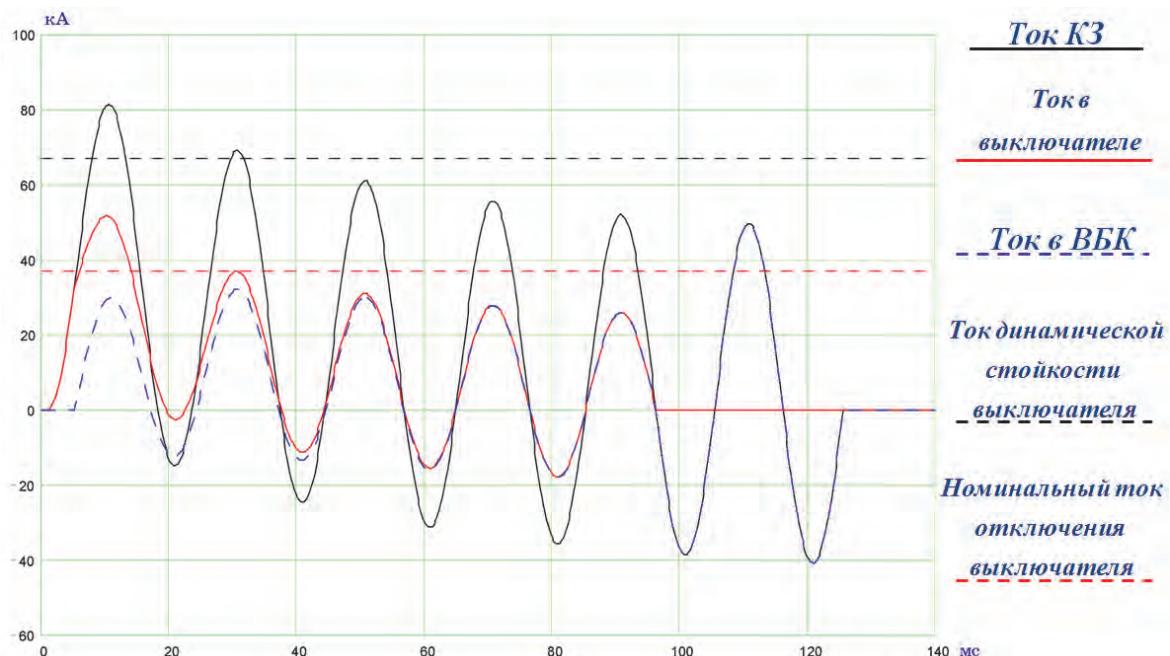


Рисунок 6 – Результаты моделирования распределения токов КЗ.

Выходы. Разработанная система ограничения токов короткого замыкания (СОТ-РВУ) представляет собой на сегодня по существу единственное комплексное решение, обеспечивающее, в том числе, при многократных циклах АПВ:

- ограничение ударного тока в защищаемых присоединениях за счет высокого быстродействия;
- ограничение тока КЗ, который протекает через выключатель поврежденного присоединения;
- снижение ПВН при отключении выключателем тока КЗ;
- интеграцию в систему управления энергообъектом.

Силовая часть СОТ-РВУ устанавливается на шинах (секции шин) и защищает все отходящие присоединения. Изменение топологии сети – ввод в работу новых присоединений – потребует только установки новых токовых пусковых органов.

По сравнению с другими предлагаемыми вариантами токоограничивающих устройств СОТ-РВУ имеет небольшие массу и габаритные размеры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Перспективы развития высоковольтных сетей на примере Московского региона / Н.Г. Шульгинов, Ю.Н. Кучеров, В.И. Чемоданов, Н.Н. Утц, Д.Н. Ярош // Электроэнергия. Передача и распределение. -2011. -№6 (9). -С. 66-75.
- 2 Указания по ограничению токов короткого замыкания в сетях напряжением 110 кВ и выше / СПО «ОРГРЭС». -1976.
- 3 ГОСТ Р 52565-2006. Выключатели переменного тока на напряжение от 3 до 750 кВ. Общие технические условия.
- 4 Ковалев, В.Д. Применение токоограничивающих устройств в высоковольтных электрических сетях / В.Д. Ковалев, В.Н. Ивакин // Электро. -2009. -№2. -С. 8-13.
- 5 Применение быстродействующих управляемых коммутирующих устройств в электроэнергетике / Д.Ф. Алферов, Г.С. Белкин, А.И. Будовский, В.П. Иванов, В.А. Сидоров, Г.Л. Дорф // Электричество. -1998. -№7. -С. 2-8.
- 6 Пат. 2366055 Российская Федерация. Способ защиты высоковольтного оборудования от токов короткого замыкания / Воронин В.А., Любарский Д.Р., Подъячев В.Н. -Опубл. 27.08. 09, Бюл. №24.
- 7 Ограничение токов КЗ и переходных восстановливающихся напряжений в сетях 110-220 кВ / В.А. Воронин, К.С. Дмитриев, И.А. Иванов, А.М. Косолапов, Д.Р. Любарский // Электрич. станции. -2012. -№5. -С. 50-54.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: токи короткого замыкания, переходные восстановливающиеся напряжения, вакуумные управляемые разрядники

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Воронин Владимир Александрович, первый заместитель генерального директора - главный инженер ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Иванов Игорь Аристотельевич, заведующий лабораторией ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

Любарский Дмитрий Романович, докт. техн. наук, заместитель генерального директора
ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Косолапов Антон Михайлович, заведующий сектором ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
Акинин Андрей Александрович, заведующий сектором ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 105318, г.Москва, ул.Ткацкая, 1, ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»

ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА МЭК 61850

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

В.В. Васильев

RELAY PROTECTION AND AUTOMATION DEVICE'S DESIGNING OF IEC 61850 APPLICATIONS
Institute of power system automation
V.V. Vasilev

In the last time in Russia and all world devotes special attention to the new communication technology IEC 61850 is information model of communication for large quantity devices control and connection with each other. In this paper is considered some of relay protection and automation device's designing of IEC 61850 application aspects.

Keywords: relay protection and automation, IEC 61850, Intelligent Electronic Device (IED), substation automation system (SAS)

В последнее время особое внимание во всем мире и в России уделяется новой коммуникационной технологии МЭК 61850, представляющую новую информационную модель коммуникации для управления большим количеством и связи различных устройств друг с другом. В этой статье рассматриваются некоторые аспекты процесса проектирования устройств релейной защиты и автоматики в среде стандарта МЭК 61850.

В создании современных интеллектуальных электроэнергетических систем важную роль играет стандарт МЭК 61850, обеспечивающий унифицированную платформу для обмена информацией между силовым и вспомогательным оборудованием (устройства управления, релейной защиты и автоматики (РЗА) и т.д.) на подстанции. Основным отличием процесса проектирования устройств РЗА в условиях применения вышеупомянутого международного коммуникационного стандарта является повсеместное внедрение цифровых интерфейсов обмена информацией. Это вносит существенные изменения в подходы к проектированию устройств РЗА. Однако необходимо отметить, что основной задачей, как и прежде, остается соответствие основным нормам и требованиям по надежному функционированию комплексов и устройств РЗА.

Существующие в нашей стране принципы построения и функционирования систем РЗА, а именно релейной защиты, противоаварийной автоматики, должен быть сохранен в условиях повсеместного применения цифровых подстанций и использования стандарта МЭК 61850. А вот процесс проектирования и наладки неизбежно изменяется в связи с тем, что объекту управления (станция, подстанция) и информационному обмену информацией теперь присущи описания, соответствующие требованиям МЭК 61850 и отличающиеся от традиционно применяемых в настоящее время. Основное отличие заключается в использовании цифровых интерфейсов взамен аналоговых. Раньше от проектировщика требовалось вручную сконфигурировать объекты и отобразить их в виде переменных энергосистемы, входных и выходных сигналов, номеров регистров нижнего уровня и т.п. Теперь же стандарт МЭК 61850 предоставляет полное описание объектов электроэнергетики и процессов их взаимодействия в такой форме, которая совместима с устройствами различного назначения и типа производителя. Кроме того, согласно МЭК 61850 любое интеллектуальное электронное устройство (ИЭУ, в английском варианте IED – Intelligent Electronic Device), которое и будет выполнять все функции РЗА, обладает свойством самоконфигурации, когда при включении его в единую информационную сеть на объекте, другие участники процесса управления и защиты обнаруживают его автоматически без участия пользователя.

Согласно ГОСТ Р МЭК 61850-4-2009 (Управление системой и проектированием) все IED-устройства обмениваются информацией друг с другом, формируя систему автоматизации подстанции (САП, в английском варианте SAS – Substation Automation System) и имеют двухсторонние каналы связи с системами передачи технологической и оперативной информации:

- контроллеры технологического оборудования, устанавливаемые в непосредственной близости от объектов управления (ОУ), например выключателей, и выполняющих сбор и передачу дискретных сигналов, реализацию команд управления и блокировки;
- системы регистрации аварийных событий (PAC), автоматизированного контроля и учета электроэнергии (АСКУЭ) и т.п.;
- устройства измерения аналоговой информации (ток, напряжение, мощность, частота, давление и т.п.);
- автоматическая система управления технологическим процессом (АСУ ТП), в том числе автоматизированные рабочие места оперативного персонала, служб РЗА.

В системе SAS осуществляется контроль следующих конфигурационных и эксплуатационных параметров: состав аппаратного оборудования; конфигурации технических средств; конфигурации контроллеров технологического оборудования; состояние интерфейсов «человек-машина»; состояние среды передачи данных.

Процесс проектирования создает условия для адаптации САП под конкретный объект и способы его управления. Цель проектирования – определение технических требований к системе SAS, включая выбор конфигураций применяемых IED-устройств, а также определение структуры обмена информацией между ИЭУ и технологическим оборудованием.

Одним из основных преимуществ проектирования при использовании МЭК 61850 является его автоматизация, когда при определении конфигурации и параметризации устройств ПА, техническая документация в среде САП формируется автоматически.

Документация технических средств состоит из: принципиальных схем связи между компонентами САП и технологическим оборудованием; списка сигналов; функциональных схем внешних устройств.

Документация установочных параметров включает в себя: конфигурационный список; список сигналов; перечень используемых параметров; графическое отображение всех дисплеев и окон подсистем микропроцессорных устройств; функциональные схемы внутренних

устройств.

Инструментарий проектирования должен быть организован таким образом, чтобы документация технических средств создавалась при помощи CAD-систем (компьютерные технологии в проектировании, от англ. Computer-Aided System), а документация установочных параметров – с помощью специализированных программных комплексов. На сегодняшний день на рынке представлены различные программные комплексы для инжиниринга систем по протоколам МЭК 61850 от различных производителей: Helinks, Kalkitech, Pullnet [1].

Документации технических средств и установочных параметров связаны списками сигналов, которые должны совпадать в обоих документах.

Итоговая проектная документация, разработанная при помощи специализированных программных комплексов и технологий, должна отображать связь между принципиальными схемами и проектными списками сигналов с одной стороны и источниками сигналов и списками обрабатываемых данных с другой стороны и должна содержать: электрические схемы устройств; кабельные журналы; описания оборудования; технические описания и руководства по эксплуатации; системное описание; описание функций; руководства по настройке и наладке; инструкции для сервисных программ; описания специализированных программ.

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что сам процесс проектирования устройств РЗА в случае применения МЭК 61850 отличается от традиционного лишь тем, что кроме документации технических средств (принципиальные и полные схемы) необходимо выполнять документацию установочных параметров со своими списками конфигурирования для последующей ее интеграции в среду цифрового обмена информацией. По сути, стандарт МЭК 61850 является лишь отличающейся от применяемых сегодня системой обмена данными и информацией. Однако в целом, технологии проектирования претерпевают некоторые изменения, и будут совершенствоваться дальше с течением времени, поскольку сейчас в разработке находится все больше и больше инструментов, которые будут эти технологии поддерживать и развивать.

После того, как мы определились с требованиями к проектной документации можно приступить к рассмотрению основных этапов процесса проектирования устройств ПА с точки зрения МЭК 61850, которые входят в общий состав IED-устройств, на любом объекте электроэнергетической системы (подстанция, станция). Для написания файлов конфигурирования МЭК 61850, формирующих документацию установочных параметров, используется язык SCL (System Configuration Language), целью которого является стандартизация системного проектирования, систем связи и описания спроектированных систем связи для средств конфигурирования устройств. Файлы, составленные по правилам этого языка, используются для обмена информацией между различными программными продуктами и физическими устройствами. Область применения языка SCL ограничена определением объектной модели, описывающей IED-устройства, коммуникационные соединения между ними и их сопоставление с первичным оборудованием.

Рассмотрим этапы создания документации установочных параметров (рисунок):

– Создание файла спецификации SSD (System Specification Description), который является электронной формой документации, описывающей однолинейную схему объекта, требуемые логические функции (в том числе РЗ и ПА) и их распределение по IED-устройствам.

– На основе файла спецификации SSD может быть определен состав необходимых нам устройств ПА и получены их ICD (IED Capability Description) файлы, описывающие функциональные возможности ИЭУ. Каждому файлу ICD должно соответствовать свое IED-устройство.

– На основе файла спецификации подстанции и файлов описания возможности устройств создаётся файл SCD (Substation Configuration Description) описывающий конфигурацию подстанции, каждого IED-устройства и логические связи между ними.

– Сформированный и откорректированный при необходимости файл SCD импортируется в специализированное программное обеспечение (ПО), которое выделяет необходимую часть из файла конфигурации подстанции, относящуюся к конкретному устройству. Таким образом, ПО формирует описание сконфигурированного ИЭУ – файл CID (Configured IED Description). Это тот же файл SCD, содержащий информацию относительно конкретного устройства. Именно файл CID загружается в IED-устройство, что по сути является окончанием процедуры проектирования.

Таким образом, любое микропроцессорное устройство, находящееся в единой среде САП, может принимать данные с различных интеллектуальных устройств и осуществлять

управление различным технологическим оборудованием. Самая главная задача, которую здесь необходимо разрешить, – это точно выявить для себя те требования, каким вы хотите удовлетворить.

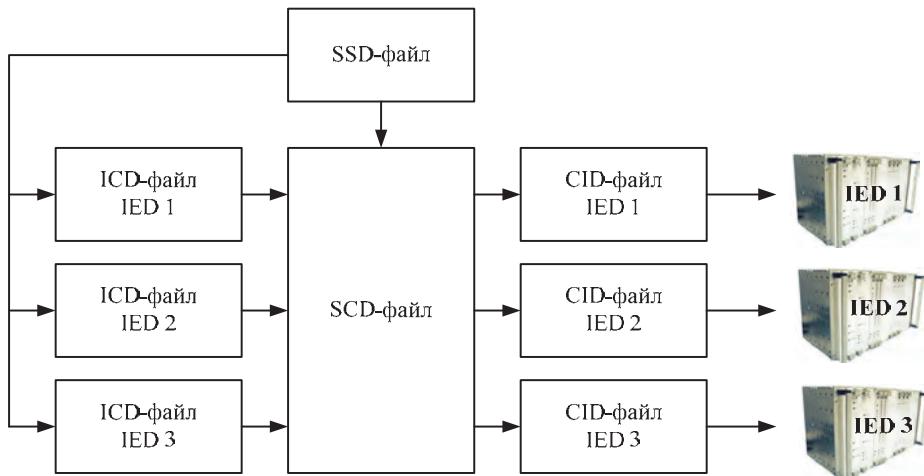


Рисунок – Создание проектной документации по МЭК 61850

Выход. Проектирование в среде МЭК 61850 отвечает всем требованиям существующих стандартов в области противоаварийной автоматики, стандартизируя процессы создания технической документации, конфигурирования применяемых IED-устройств, обмена информацией между различными программными продуктами и физическими устройствами. Очень серьезным преимуществом стандарта является то, что он отражает функциональную совместимость оборудования от разных производителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Тазин, В.О. Инжиниринг систем автоматизации цифровых подстанций / В.О. Тазин, А.В. Головин, А.О. Аношин // Релейщик. -2012. -Апр. -С. 38-41.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: релейная защита и автоматика, МЭК 61850, интеллектуальное электронное устройство (ИЭУ), система автоматизации подстанции
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Васильев Владимир Владимирович, канд. техн. наук, главный специалист ЗАО «ИАЭС»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ УСТРОЙСТВ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.Е. Глазырин, В.П. Яворский

CHOOSING CONTROL ACTIONS FOR OVERLOAD PROTECTION NEEDS
Novosibirsk state technical university
V.E. Glazyrin, V.P. Yavorskiy

The problem of preventing equipment damage is topical in case of emergency occurs in repair mode. Breaking of overloaded equipment leads to overload increasing in working units, in that case cascade breaking might be a result. The point is to use breaking only as a final action preference should be given to using emergency control in order to reduce overload.

Keywords: relay protection and automation, emergency control, overload

Проблема предотвращения повреждения электрооборудования при перегрузках стоит особенно остро при наложении аварийного режима на ремонтную схему. Отключение перегруженного оборудования, в этом случае, может приводить к еще большей загрузке элементов, оставшихся в работе. Это может быть причиной дальнейшего каскадного развития аварии. Именно поэтому отключение перегруженного элемента должно считаться крайней мерой, а предпочтение должно отдаваться противоаварийному управлению, обеспечивающему разгрузку.

Способ ликвидации перегрузки оборудования зависит от обстоятельств, которые можно обобщить следующим образом [1]:

- кратность реально протекающего и, возможно, изменяющегося во времени тока I по отношению к его известному длительно допустимому значению $I_{\text{доп}}$, при номинальной температуре $\theta_{\text{окр}}$ окружающего воздуха;
- конечная температура θ_{∞} нагрева под воздействием тока I при текущем значении температуры окружающего воздуха $\theta_{\text{окр}}$ и постоянной времени T ;
- длительно допустимая температура защищаемого оборудования $\theta_{\text{доп}}$ и её соотношение с θ_{∞} ;
- допустимое время $t_{\text{доп}}$ перегрузки оборудования по току сверх $I_{\text{доп}}$ или по температуре сверх $\theta_{\text{доп}}$.

Быстрота, с которой должны быть выполнены меры по разгрузке, зависит от значения допустимого времени $t_{\text{доп}}$. Большини перегрузками, при которых $t_{\text{доп}} < 20-60$ с, обычно занимается релейная защита. В том случае, если при максимально возможной перегрузке допустимое время $t_{\text{доп}} > 10-20$ минут, то с ликвидацией перегрузки может справиться оперативный персонал. Таким образом, подсистема АОПО должна осуществлять автоматическую разгрузку оборудования, если допустимое время перегрузки находится в диапазоне от 20-60 с до 10-20 минут.

Следует отметить, что достоверные данные о $t_{\text{доп}}$ удается получить или вычислить далеко не всегда.

Желательно, чтобы воздействия АОПО обладали двумя принципиально важными свойствами.

Первое – они, подобно воздействиям с целью сохранения устойчивости синхронной работы в послеаварийном состоянии, должны быть сбалансированными. И причина этого желания – не вызвать перераспределения мощности в ЭЭС, которое могло бы привести к перегрузке какого-либо сечения.

Второе важное свойство этих воздействий обусловлено отсутствием необходимости быстрого действия. Благодаря этому их можно выполнять «регулирующими», то есть действующими в зависимости от превышения над допустимым значением контролируемого параметра и постепенно нарастающими во времени, пока нагрузка не исчезнет или хотя бы не уменьшится до такого уровня, при котором она может быть устранена оперативным персоналом.

В качестве исполнительного механизма подсистемы АОПО полезно использовать систему регулирования или ограничения обменной мощности, предназначенную для действия в нормальном состоянии ЭЭС. Но привлечь к этому процессу указанную систему удается не всегда, поскольку перегруженным может оказаться элемент сети, находящийся совсем не в том сечении, которое контролируется этой системой. Поэтому представляется целесообразным воздействовать командами подсистемы АОПО непосредственно на системы регулирования мощности электростанций и до узлов централизованного отключения потребителей, обеспечивающих разгрузку элемента [1].

В ряде случаев серьезной проблемой является выбор упомянутых нужных станций и потребителей. Дело в том, во-первых, что через перегруженный элемент сети может проходить не одно, а несколько сечений сети, каждое из которых по-своему распределяет электростанции и потребителей ЭЭС на относящиеся к отправной и приемной части. Во-вторых, в отличие от подсистемы АПНУ, задачей подсистемы АОПО не является разгрузка полного сечения сети, ее задача иная – разгрузить только перегруженный элемент сети, который входит в это сечение и, может быть, является элементом одной из связей, пересекаемых этим сечением, иначе говоря, составляет частичное сечение. Выполнить разгрузку только одной из шунтирующих друг друга связей, конечно, невозможно, но для уменьшения управляющих воздействий важно выбрать для разгрузки то сечение, в котором на долю перегруженного элемента может быть получена наибольшая разгрузка. Далее, небезразлично, на какой из электростанций отправной части следует выполнять снижение мощности, и каких из имеющихся потребителей приемной части следует отключать. Отсюда очевидно, что минимизация воздействий, необходимых для разгрузки элемента сети, связана с решением ряда топологических и электротехнических задач. Поэтому эффективность использования вы-

бранных управляющих воздействий зависит как от конкретных особенностей сети, так и от успешности решения этих задач.

Вероятно, наиболее правильное решение – возложить разгрузку на электростанции и потребителей, которые находятся в сети электрически ближе других к перегруженному элементу [2].

Определяя диапазон регулирования электростанций, который необходим для разгрузки элемента сети, нужно учитывать, что эффективность разгрузки зависит от того, насколько сильно данное частичное сечение загружено по сравнению с полным, и насколько электрически близко находятся регулирующие электростанции к разгружаемому элементу. Во всяком случае, если этот элемент – не единственный в полном сечении, то сбалансированная разгрузка не может полностью обеспечить разгрузку этого элемента [3].

В том случае, если разгрузка выполняется слишком медленно и продолжается дольше допустимого времени, подсистема АОПО в качестве последнего и явно нежелательного действия должна тем или иным способом, вплоть до отключения элемента, прекратить протекание тока через исчерпавшее свой термический ресурс оборудование.

Оценка опасности возникшей перегрузки имеет в конечном итоге два аспекта: как велика температура наиболее чувствительной части оборудования по сравнению с допустимой температурой и как долго продолжается превышение температуры по сравнению с допустимой продолжительностью такого решения. Полное решение такой задачи требует сбора подробной информации о текущем состоянии оборудования и выполнения сложных вычислений, что в реальном времени функционирования противоаварийных устройств вряд ли достижимо. На практике задача решается ориентировочно с использованием упрощений различного уровня.

Команды на электростанции для автоматической разгрузки линии должны формироваться до тех пор, пока кратность тока в контролируемом объекте не снизится до значения, допустимого в течении 10-20 минут (дальнейшая разгрузка должна осуществляться оперативным персоналом).

Для определения температуры провода воздушной линии электропередачи в произвольный момент его нагрева следует использовать следующее выражение [4]

$$\theta_t = \theta_{\text{нач}} + \Delta\theta [1 - \exp(-t/T)], ^\circ\text{C},$$

где $\theta_{\text{нач}}$ – начальная температура провода, $^\circ\text{C}$;

$\Delta\theta$ – приращение температуры нагрева, $^\circ\text{C}$;

t – время, прошедшее с момента начала переходного процесса, с.

Однозначного решения для выбора уставки по температуре срабатывания не существует. В связи с этим предлагается использовать две ступени температуры срабатывания: первая ступень $\theta_{\text{сигн}}$ – для действия на сигнал, по которому должен осуществлять разгрузку оперативный персонал; вторая ступень $\theta_{\text{ср}}$ – для действия на автоматическую разгрузку. Что же касается выбора конкретных значений параметров срабатывания, то тут можно использовать две тактики.

Поскольку значения допустимой температуры $\theta_{\text{оп}}$ и установившейся в процессе перегрузки температуры θ_∞ известны не достаточно точно, в [1] рекомендуется принимать

$$\theta_{\text{сигн}} = k_3 \cdot \theta_{\text{оп}} ; \quad \theta_{\text{ср}} = \theta_{\text{оп}},$$

где k_3 – коэффициент чувствительности сигнальной ступени к возможному превышению длительно допустимой температуры провода, $k_3 = 0,8-0,9$.

Другой вариант основан на интерполяции имеющихся данных о зависимости допустимого времени перегрузки от отношения $\theta_\infty / \theta_{\text{оп}}$. Обычно известны, по крайней мере, две точки этой зависимости

$$\frac{\theta_\infty}{\theta_{\text{оп}}} = 1 \text{ при } t_{\text{оп1}} = \infty ; \text{ значение } \frac{\theta_{\text{оп2}}}{\theta_{\text{оп}}} \text{ при } t_{\text{оп2}} \approx 0,$$

где $\theta_{\text{оп}}$ – температура провода, допустимая только кратковременно.

Если больше никаких точек не известно, то для приближённого решения через эти две точки проводят прямую линию и находят все промежуточные данные на этой прямой, то есть используют линейную интерполяцию. Однако это не отвечает обычному виду характеристик допустимого времени перегрузки и притом дает слишком оптимистическое решение.

Несколько более реальной является гиперболическая интерполяция

$$\sqrt{\frac{t_{\text{доп1}}}{t_{\text{доп2}}}} = \frac{\theta_{\text{допк}}/\theta_{\text{доп}} - 1}{\theta/\theta_{\text{доп}} - 1},$$

используя которую, находится температура, допустимая в течение заданного времени $t_{\text{доп}}$

$$\theta/\theta_{\text{доп}} = \sqrt{\frac{t_{\text{доп1}}}{t_{\text{доп2}}}} (\theta_{\text{допк}}/\theta_{\text{доп}} - 1) + 1.$$

Считая, что перегрузки, имеющие допустимую длительность более 15 минут, устраняются оперативным персоналом, можно принять уставку сигнальной ступени по температуре

$$\theta_{\text{сигн}} = k_3 \cdot \theta_{\text{доп}},$$

а начинать автоматическую разгрузку с температуры

$$\theta_{\text{ср}} = \theta_{\text{доп}} (\theta/\theta_{\text{доп}}).$$

Применение тепловой модели защищаемой линии позволяет более полно использовать перегрузочную способность линии, но ее использование ведет к усложнению выбора управляющего воздействия, которое целесообразно применять для ликвидации режима перегрузки на защищаемом элементе. Управляющие воздействия, необходимые для разгрузки элемента сети, необходимо формировать в следующем порядке: регулирование загрузки турбин, отключение нагрузки и, как крайняя мера, отключение перегружаемого элемента. Такая последовательность управляющих воздействий позволит минимизировать отключение потребителей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Глускин, И.З. Противоаварийная автоматика в энергосистемах / И.З. Глускин, Б.И. Иофьев. -М.: Знак, 2009. -568 с.: ил.
- 2 Иофьев, Б.И. Автоматическое аварийное управление мощностью энергосистем / Б.И. Иофьев. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергия, 1973. -415 с.: ил.
- 3 Анализ эффективности алгоритма работы автоматики ограничения перегрузки линий / А.В. Хостанцев [и др.] // Релейн. защита и автоматизация. -2013. -№2 (11).
- 4 Бургдорф, В.В. Определение допустимых токов нагрузки воздушных линий электропередачи / В.В. Бургдорф, Л.Г. Никитина // Электричество. -1989. -№11.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: релейная защита и автоматика, противоаварийная автоматика, перегрузка
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глазырин Владимир Евлампиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Яворский Виталий Павлович, аспирант ФГБОУ ВПО «НГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ СИНХРОНИЗАТОР В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА УСТЬ-ХАНТАЙСКОЙ ГЭС

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

И.А. Басараб

MICROPROCESSOR-BASED SYNCHRONIZER CONSISTING OF UST-KHANTAYSKAY WATERPOWER PLANT'S COMPUTER-BASED MONITORING SYSTEM

Institute of power system automation

I.A. Basarab

On creation of computer-based monitoring system in waterpower plant the main is ensuring of equipment's synchronous switching on. In this work is cited the basis of each synchronize methods use for correct switching on guarantee.

Keywords: microprocessor-based synchronizer, computer-based monitoring system

При создании АСДУ на ГЭС одной из важнейших задач является обеспечение синхронного включения оборудования. В работе приводится обоснование применения каждого из способов синхронизации для обеспечения правильного включения.

Особенно точный процесс синхронизации, является достаточно сложной задачей и объединяет своим технологическим циклом ряд независимых устройств. Далее данный спо-

соб рассмотрен как основной, а режим автоматической синхронизации, как дополнительная функция устройства.

При создании устройства применен подход минимизации нагрузки по цепям напряжения. Для исключения постоянной нагрузки по этим цепям применяется автоматическое подключение напряжений синхронизируемых систем при выборе включаемого выключателя с помощью системы управления АСДУ. Также показана структура функционирования и взаимодействия устройства синхронизации с внешними устройствами.

Включение выключателя в сеть на параллельную работу, связывающего несинхронные части энергосистемы, является очень ответственным действием, и выполняется с помощью устройства синхронизации.

При создании АСДУ на ГЭС одной из важнейших задач является обеспечения синхронного включения оборудования в сеть. В данное время существует несколько способов синхронизации: от точной синхронизации до контроля синхронизма и элементарного наблюдения. Каждый из данных способов имеет определенную область применения.

На УХ ГЭС применяется несколько методов синхронного включения выключателя: точной «ручной», с контролем синхронизма, а так же без контроля синхронизма. В статье рассказывается о реализации указанных методах синхронизации на базе микропроцессорного устройства КПА-М, а так же о реализации интерфейса «Синхронизатор-Диспетчер станции».

Усть-Хантайская ГЭС предназначена для энергоснабжения Норильского горнometаллургического комбината, а также Норильского, Дудинского и Игарского промышленных районов и поселка Снежногорск. ГЭС входит в состав ОАО «Норильско-Таймырская энергетическая компания». В состав гидроузла входят: вырубленное в скале здание ГЭС подземного типа с семью гидроагрегатами по 63 МВт каждый.

В настоящее время на станции начата реконструкция гидроагрегатов, в результате которой общая мощность ГЭС увеличится с 441 МВт до 511 МВт. К установке определены радиально-осевые турбины в паре с гидрогенераторами типа СВ 845/135-40 номинальной мощностью 73 МВт. Срок проведения строительно-монтажных работ по реконструкции – с 2014 г. по 2020 г. ОРУ 220 кВ Усть-Хантайской ГЭС является узловым распределительным устройством в южном узле Норильско-Таймырской энергосистемы.

В соответствии с техническим заданием включение на реконструкцию гидроагрегатов выключателей главной схемы Усть-Хантайской ГЭС должно выполняться с контролем синхронизма. Для включения в сеть на параллельную работу генераторов Усть-Хантайской ГЭС, а также для включения линий электропередач, связывающих несинхронные части энергосистемы используются разные методы.

Для этих целей на Усть-Хантайской ГЭС предусматривается установка на базе комплекса противоаварийной автоматики (производства ЗАО «ИАЭС») КПА-М, обеспечивающее включение выключателей под его контролем, и выполняющего следующие функции:

- по данным от аналогово-цифрового преобразователя (АЦП), производит вычисление частоты напряжения, скольжения напряжений и прочих производных величин, необходимых для осуществления процесса синхронизации, в том числе и визуализации;
- определяет и формирует угловые зоны разрешения и блокирования сигналов включения с учетом коррекции векторов синхронизируемых напряжений;
- передает данные в персональную электронную вычислительную машину (ПЭВМ);
- формирует команды включения выключателя, а так же изменения скорости вращения гидроагрегатов и изменения уровня напряжения;
- осуществляет регистрацию и осциллографирование процессов.

Микропроцессорный синхронизатор входит в состав программно технического комплекса (ПТК) (производства ЗАО «Модульные Системы Торнадо»). ПТК выполняет регистрацию информации о технологическом процессе и состоянии технологического оборудования, полученной от системы сбора. По данной информации система управления ПТК готовит замеры и состояния коммутационных аппаратов для системы отображения на мониторы.

Вывод функции включения выключателя (испытания выключателя, подача напряжения на оборудование и т.п.) с использованием устройства синхронизации защищен паролем.

Методы включения выключателей с использованием устройства синхронизации:

– Метод точной «ручной» синхронизации. Метод предусматривает непосредственное участие оператора в выполнении операции по включению врачающегося и возбужденного генератора на параллельную работу с сетью. При этом оператор через автоматизированное

рабочее место (АРМ) синхронизатора выполняет: контроль и регулирование частоты вращения турбины и напряжения (возбуждения) генератора с целью уравнивания частоты и напряжения генератора с соответствующими параметрами сети; наблюдение за соотношением фаз напряжений сети и генератора, а также за динамикой его изменения; включение выключателя генератора в момент, наиболее благоприятный для «мягкого» вхождения генератора в синхронизм с сетью (с учетом скорости включения выключателя).

– Метод точной «автоматической» синхронизации заключается в полной автоматизации предыдущего метода.

– Метод включения без контроля синхронизма предусматривает ускоренную операцию по включению врачающегося и возбужденного генератора для опробования оборудования после капитального ремонта, для прогрузки цепей релейной защиты и автоматики (РЗА) и т.д. Операции проводятся непосредственно оператором с АРМ устройства с учетом отсутствия напряжения на выбранном участке сети и наличия напряжения на шинах генератора. Оператор выполняет операцию включения выключателя через АРМ.

– Метод включения с контролем синхронизма предусматривает выполнение операции по включению несинхронно работающих частей системы на параллельную работу без прямого участия оператора. Включение выполняется автоматически при разности частот между частями системы не более 0,5 Гц, разности фаз напряжений не более 35 электрических градусов и разности модулей напряжений не более 30% от номинального значения.

Оператор выполняет пуск операции включения выключателя с контролем синхронизма.

При включении выключателя любым из перечисленных методов микропроцессорное устройство синхронизации обеспечивает выдачу следующей информации: величины напряжений частей системы и разности этих напряжений; частоты напряжений частей системы и разности этих частот; разрешение подачи команды «Включить выключатель» с помощью виртуальной кнопки, активной только в допустимой зоне для каждого из методов; виртуальные ключи (кнопки) «Прибавить / Убавить» (для метода «точной» синхронизации); возможность отмены операции включения.

На структурно-функциональной схеме (рисунок 1) показано взаимодействие синхронизатора со смежными устройствами и системами, описание которой приведено ниже.

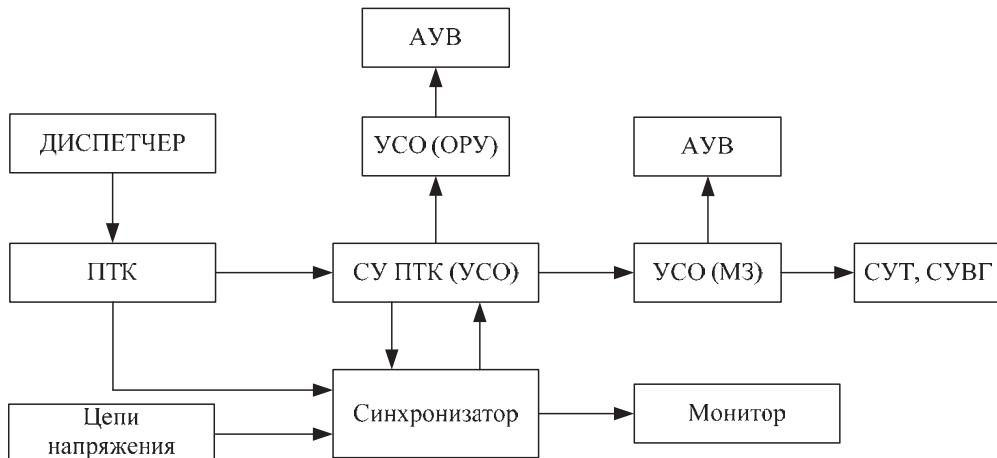


Рисунок 1 –Структурно-функциональная схема синхронизатора

Каждому выключателю, присваивается уникальный номер (режим) его включения, который при выборе его оператором передается в ПТК и синхронизатор.

Для каждого режима включения выключателя система управления ПТК с помощью устройства связи с объектом СУ ПТК (УСО) обеспечивает подключение к синхронизатору соответствующих цепей напряжения с помощью реле коммутации, которые установлены в шкафу синхронизатора.

Программное обеспечение ПТК содержит алгоритмы, исключающие одновременное включение реле коммутации разных групп.

Порядок подключения контролируемых напряжений к устройству синхронизации (синхроископу) определяет движение вектора напряжения «Генератор» относительно статичного отображения вектора напряжения «Система».

Оперативное управление выключателями осуществляется через ПТК диспетчера. ПТК

реализует алгоритмы отключения и включения выключателей. Включение выключателей без контроля синхронизма нормально заблокировано и допускается только при активации с паролем специальной опции «Без контроля синхронизма».

Входные (таблица 1) и выходные (таблица 2) цепи синхронизатора являются общими для всех выключателей (вариантов их включения) и организовываются в виде виртуальных шинок синхронизации (рисунок 2). Шинки синхронизации являются входами и выходами синхронизатора, к которым при выборе включаемого выключателя подключаются соответствующие измерительные цепи и исполнительные функции.

Таблица 1 – Входные аналоговые цепи (шинки) синхронизатора

Наименование входа	Полярное «Начало»	Полярный «Конец»
Напряжение «Система»	ES1.A	ES1.C
Напряжение «Генератор»	ES2.A	ES2.C

Таблица 2 – Выходные цепи (шинки) синхронизатора

Наименование выхода	Подключение выхода 1
Включить выключатель	ECSC1
Увеличить частоту генератора	ECSF+1
Уменьшить частоту генератора	ECSF-1
Увеличить напряжение генератора	ECSU+1
Уменьшить напряжение генератора	ECSU-1

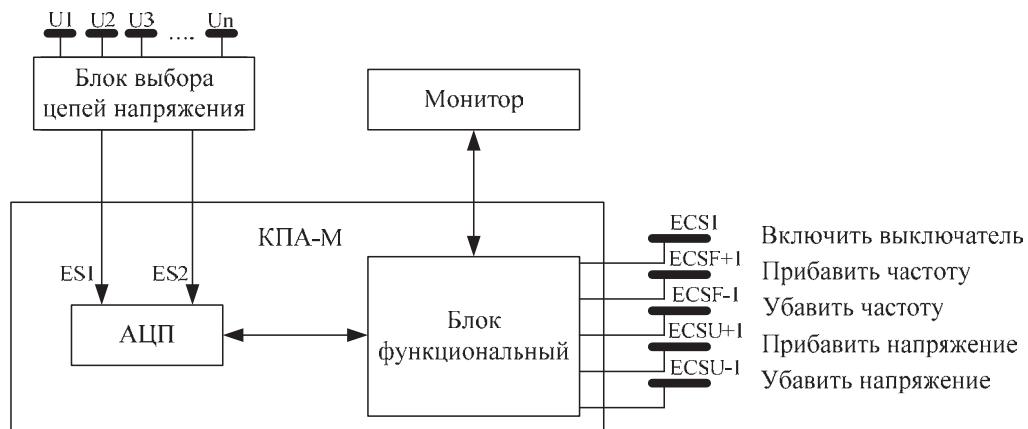


Рисунок 2 – Структурная схема системы управления синхронизации

Связь синхронизатора с объектами управления УСО (ОРУ) и УСО (МЗ) осуществляется с помощью программных указателей СУ ПТК. УСО (ОРУ), устанавливается на ОРУ 220 кВ и обеспечивает включение выключателей 220 кВ с помощью автоматики управления выключателя (АУВ). УСО (МЗ), устанавливается в машзале и обеспечивает коммутацию генераторных выключателей для подготовки условий синхронизации и управление турбинами (СУТ) и возбуждением генераторов (СУВГ).

Процесс подготовки цепей для работы синхронизатора построен следующим образом.

Диспетчер на АРМ во вкладке «Управление станцией» выбирает выключатель для включения, определяет способ его включения («точная ручная синхронизация»), подготавливает первичную схему (или проверяет её готовность, анализируя мнемосхему). При этом каждому выключателю (режиму и методу его включения) заранее присваивается уникальный шифр. После того как диспетчер подтверждает команду на включение с использованием синхронизации в синхронизатор по цифровой связи передается уникальный шифр выключателя. По этому шифру синхронизатор определяет, какие поправочные коэффициенты необходимо применять при сравнении напряжений, а так же какие из напряжений нужно подать на синхронизатор. Также система управления определяет, на какой выключатель необходимо транслировать команду включения и на регуляторы какого генератора необходимо подавать воздействия по командам «прибавить/убавить». После того как синхронизатор идентифицирует включаемый выключатель, на его цепи измерения подаются напряжения синхронизируемых сторон.

Затем органы управления на АРМ во вкладке «Синхронизатор» становятся активными,

и уже с него диспетчер осуществляет подгонку векторов напряжений, по условиям описанных выше, и включение выключателя. После успешного включения цепи напряжения снижаются с измерительных органов синхронизатора, его органы управления становятся неактивными.

В составе АСДУ реализован полноценный микропроцессорный синхронизатор, имеющий свой АРМ. Функциональный блок синхронизатора сравнивает частоты двух напряжений, углы векторов и действующее значение напряжений, а так же отображает их на мониторе с активной кнопкой в зоне разрешения команды «Включить выключатель», что предотвращает включение оборудования ГЭС на несинхронную работу.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: синхронизатор микропроцессорный, автоматизированная система диспетчерского управления

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Басараб Ирина Александровна, старший инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ПРОВЕРКИ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

В.Е. Глазырин, О.В. Танфильев

SETTING THE POWER SYSTEM MODEL FOR OUT-OF-STEP PROTECTION COMPLEX TESTS

Institute of power system automation
Novosibirsk state technical university
V.E. Glazyrin, O.V. Tanfilev

Modern out-of step protection devices (OST) using impedance changes principle, require a special approach to verify proper operation. OST tests involve modeling the boundary modes: internal and external out-of-steps. The impedance vector in these modes must pass the base midpoints of trapezium tripping characteristics for distance units of OST.

Keywords: automatic elimination of asynchronous operation, out-of step tripping characteristics

Современные устройства АЛАР, использующие дистанционный принцип, требуют особого подхода при проверке правильности функционирования. Проверка АЛАР предполагает моделирование граничных режимов: внутренних и внешних асинхронных ходов, при которых годографы сопротивлений замера проходят вблизи характеристик срабатывания измерительных органов АЛАР.

Как известно [1, 2], проверка работы устройства автоматики ликвидации асинхронных режимов (АЛАР) должна осуществляться в режимах, которые наиболее близки к выявленным при анализе устойчивости рассматриваемой электроэнергетической системы и приняты за расчетные при выборе уставок. В связи с этим, система автоматической проверки микропроцессорного устройства АЛАР, работающего на дистанционном принципе, должна учитывать рекомендации по выбору параметров настройки устройства.

Рассмотрим подходы к формированию тестовых режимов для проверки АЛАР, разработанной и выпускаемой ЗАО «ИАЭС», использующей два дистанционных органа (чувствительный и грубый), имеющие трапецидальные характеристики срабатывания и общие основания трапеций (рисунок 1), а также орган направления мощности, линейная характеристика которого коллинеарна с общей высотой трапеций дистанционных органов.

Система автоматической проверки АЛАР должна осуществлять проверку функционирования устройства АЛАР по заданным параметрам настройки (уставкам) органов выявления асинхронного хода в следующих режимах:

– Внешний асинхронный ход, с прохождением траектории вектора сопротивления на комплексной плоскости вблизи верхнего основания характеристики срабатывания с заданной точностью (рисунок 1), не заходя в зоны действия дистанционных органов.

– внешний асинхронный ход, с прохождением траектории вектора сопротивления на

комплексной плоскости вблизи нижнего основания характеристики срабатывания с заданной точностью, не заходя в зоны действия дистанционных органов;

- внутренний асинхронный ход, с прохождением траектории вектора сопротивления на комплексной плоскости вблизи верхнего и нижнего основания трапеции характеристики срабатывания с заданной точностью при «ускорении» и «торможении» системы (см. рисунок 1), проходя через зоны действия дистанционных органов;

- синхронные качания, при которых конец вектора сопротивления периодически оказывается в зоне чувствительного органа сопротивления;

- глубокие синхронные качания, при которых конец вектора сопротивления периодически оказывается и в зоне чувствительного органа сопротивления, и в зоне грубоого органа сопротивления, не пересекая при этом характеристику срабатывания органа направления мощности.

Короткие замыкания, сопровождающиеся скачкообразным переходом вектора сопротивления из области нормальных режимов в зоны действия дистанционных органов.

При расчетах параметров модели энергосистемы для имитации асинхронного хода необходимо также предусмотреть следующее:

- возможность согласования основного устройства АЛАР, работающего на дистанционном принципе, с резервным токовым устройством АЛАР. То есть ввести дополнительные ограничения по максимальному и минимальному току АР для обеспечения условий одновременного срабатывания и токового органа выявления асинхронного режима, и дистанционного;

- возможность ввести дополнительные ограничения по максимальному току асинхронного режима по условию ограничения максимального выдаваемого тока испытательной установкой «РЕТОМ 61(51)»;

- возможность ввести дополнительные ограничения по току и напряжению доаварийного режима для получения годографа вектора сопротивления при внутреннем и внешнем АР с заданным радиусом кривизны.

Практически все современные устройства АЛАР обеспечивают корректную работу устройства при возникновении асинхронного режима в электроэнергетической системе при ее работе в неполнофазном режиме или в условиях глубокой несимметрии нагрузки. Поэтому должна быть предусмотрена возможность автоматической проверки устройства в неполнофазных режимах:

- асинхронный ход в неполнофазном режиме при расположении ЭЦК на контролируемом участке;

- асинхронный ход в неполнофазном режиме при расположении ЭЦК вне контролируемого участка.

Принципы моделирования граничных режимов. Рассмотрим особенности моделирования внешнего асинхронного хода, с прохождением годографа вектора сопротивления на комплексной плоскости выше верхнего основания характеристики срабатывания с заданным отклонением ε , которое может быть принято, например, 10%. Для этого воспользуемся первым типом модели энергосистемы (рисунок 2) программы «RL модель энергосистемы» испытательного комплекса РЕТОМ 61(51).

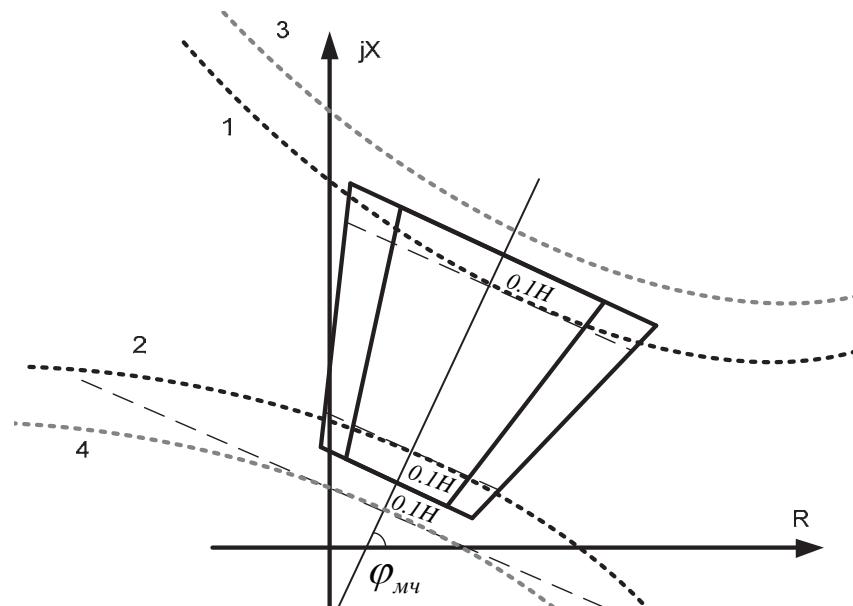


Рисунок 1 – Характеристики срабатывания измерительных органов МП-АЛАР. Годографы вектора сопротивления для расчетных режимов внешнего и внутреннего АР: 1, 2-внутренний АР; 3, 4-внешний АР

Для удобства расчетов могут быть приняты следующие допущения:

- сопротивление линии Z_l равно нулю;
- аргументы векторов сопротивлений систем Z_{c1} и Z_{c2} равны.

Для используемой модели зависимость измеряемого сопротивления Z_p устройством АЛАР от взаимного угла может быть представлена следующим выражением

$$Z_p(\delta) = Z_\Sigma \frac{1}{1 - \frac{E_{ll}}{E_l}} - Z_{c1}, \quad (1)$$

где Z_Σ – суммарное сопротивление системы

$$Z_\Sigma = Z_{c1} + Z_{c2};$$

E_l, E_{ll} – ЭДС первой и второй систем, соответственно.

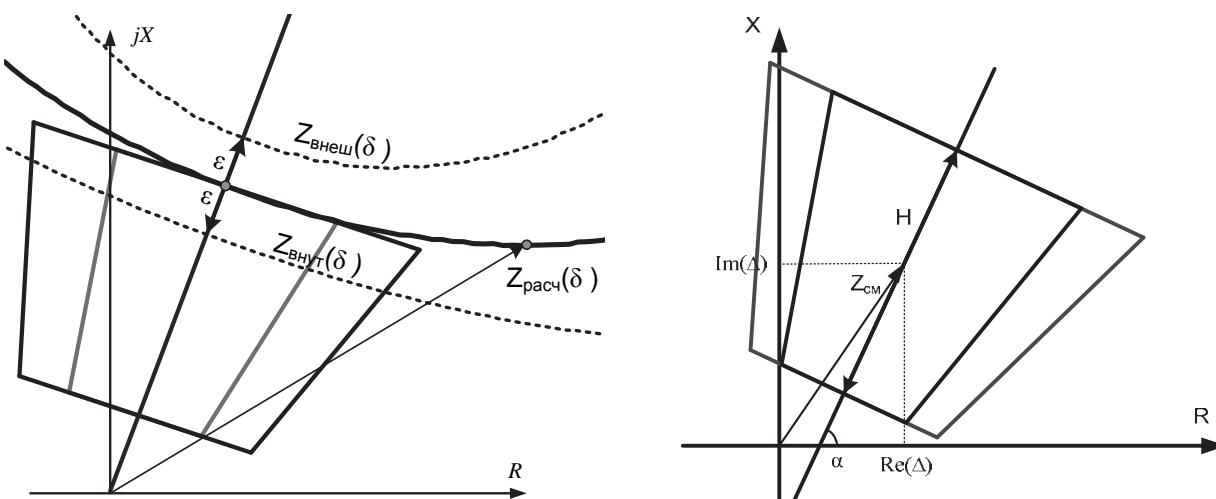


Рисунок 3 – Зависимости измеряемого сопротивления при внешнем и внутреннем АР с заданным отклонением ε . Характеристики срабатывания измерительных органов АЛАР: H – высота трапеций ЧО и ГО; $Re(\Delta)$ – смещение центра трапеций по оси R ; $Im(\Delta)$ – смещение центра трапеций по оси X ; α – угол наклона высоты трапеции к оси R

Назовем расчетным такой асинхронный режим, при котором годограф вектора сопротивления $Z_{pacu}(\delta)$ проходит через верхнее основание характеристики срабатывания таким образом, что минимальное сопротивление замера совпадает с точкой пересечения ОНМ и верхнего основания трапеции (рисунок 3). Тогда зависимости измеряемого сопротивления при внешнем и внутреннем АР с заданным отклонением ε могут быть определены по следующим выражениям:

$$Z_{\text{внеш}}(\delta) = (1 + \varepsilon) Z_{\text{pacu}}(\delta); \quad (2)$$

$$Z_{\text{внут}}(\delta) = (1 - \varepsilon) Z_{\text{pacu}}(\delta). \quad (3)$$

Поскольку годограф расчетного АР проходит через верхнее основание характеристики срабатывания, значение сопротивления Z_{pacu} при взаимном угле между ЭДС $\delta = 180^\circ$ можно определить по известным величинам – по высоте трапеции H и смещению центра характеристики срабатывания относительно начала координат Z_{cm} (рисунок 3)

$$Z_{\text{pacu}}(180) = Z_{cm} + \frac{H}{2}. \quad (4)$$

Величина суммарного сопротивления системы Z_Σ может быть определена из ограничений по максимальному и минимальному току АР. При этом суммарное сопротивление системы Z_Σ должно быть принято больше по модулю, чем величина расчетного сопротивления по выражению (4).

Принятые ранее допущения позволяют рассчитать параметры модели для внешнего и внутреннего асинхронного хода, с прохождением годографа вектора сопротивления на комплексной плоскости вблизи верхнего основания характеристики срабатывания с заданным отклонением по выражениям (2) и (3), с учетом подстановки (4). Аналогично могут быть получены выражения для моделирования внешнего и внутреннего АР, с прохождением траектории вектора сопротивления на комплексной плоскости вблизи нижнего основания характеристики срабатывания с заданной точностью.

При моделировании внутреннего асинхронного хода, зачастую требуется задавать параметры модели энергосистемы таким образом, чтобы проверить корректность определения сигналов «ускорение» и «торможение» системы. Направление вращения вектора сопротивления может быть изменено на противоположное. Для этого необходимо выбрать такой угол нагрузки, чтобы получить вектор, сопряженный вектору отношения ЭДС систем

$$K = \frac{E_I}{E_{II}} = \frac{Z_p + Z_{c1}}{Z_p - Z_{c2}}, \quad (5)$$

где Z_p – сопротивление замера предаварийного режима.

Полученные выражения применены для комплексной проверки МП-АЛАР разработки ЗАО «ИАЭС». При определении параметров модели энергосистемы для проверки функционирования АЛАР с учётом указанных выше ограничений (по согласованию с резервным АЛАР, по радиусу кривизны годографа и др.) может потребоваться привлечение оптимизационных методов.

Заключение. В настоящее время, в ЗАО «ИАЭС» разработана программа для комплексной проверки устройств АЛАР в различных режимах, позволяющая получать в качестве результатов не только параметры RL модели энергосистемы, но и осциллограммы в формате COMTRADE. Адекватность получаемых результатов проверена на различных уставках с использованием испытательного устройства РЕТОМ-61. Разработанные средства формирования заданий для проведения комплексных проверок АЛАР при выполнении пусконаладочных работ широко используются ЗАО «ИАЭС» в работах на энергообъектах.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Гоник, Я.Е. Автоматика ликвидации асинхронного режима / Я.Е. Гоник, Е.С. Иглицкий. -М. : Энергоатомиздат, 1988. -112 с.
- 2 Беркович, М.А. Основы автоматики энергосистем / М.А. Беркович, А.Н. Комаров, В.А. Семенов. -М. : Энергоиздат, 1981. -432 с.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: автоматика ликвидации асинхронного режима, характеристики срабатывания АЛАР
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глазырин Владимир Евлампиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Танфильев Олег Вадимович, канд. техн. наук, старший инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ГРУППОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический университет»

Г.В. Глазырин, С.М. Шаюк, А.И. Присекин

DEVELOPING OF GROUP ACTIVE POWER CONTROL ALGORITHM FOR THE THERMAL POWER PLANT
Institute of power system automation
Novosibirsk state technical university
G.V. Glazyrin, S.M. Shayuk, A.I. Prisekin

In this paper group control of a thermal power plant units' is considered. A new algorithm of group active power control for a thermal power plant distributing power between power units is proposed. The algorithm is tested at powerplant mathematical model.

Keywords: group control of active power, thermal power plant, primary control, microprocessor system, secondary control

Рассматриваются вопросы группового управления мощности тепловой электрической станции. Предложен алгоритм группового регулирования активной мощности для ТЭС, распределяющий между энергоблоками плановое, вторичное и первичное задания. При расчете задания мощности учитываются первичные и вторичные резервы, размещаемые на блоках. Работа алгоритма проверена на математической модели тепловой станции.

Вопросы регулирования частоты являются чрезвычайно важными и актуальными, так как её отклонение от номинального значения может приводить к значительным изменениям в режиме работы потребителей, и, как следствие, уменьшению производительности машин и механизмов, ухудшению качества продукции, сокращению срока службы оборудования. Когда на повестку дня были поставлены задачи расширения рынка электроэнергии на Запад, важной целью стала подготовка ЕЭС России к включению на параллельную синхронную работу с энергообъединениями Центральной и Западной Европы. При организации синхронной параллельной работы энергосистем разных стран, образующих межгосударственное объединение, одной из основных проблем является проблема регулирования обменов электрической энергией и активной мощностью, что невозможно без поддержания в них единой частоты с высокой точностью.

В соответствии с [1] в ЕЭС России непрерывно осуществляется регулирование частоты и перетоков активной мощности с целью поддержания устойчивой работы с отклонениями, устанавливаемыми данным стандартом. Поддержание параметров электроэнергетического режима осуществляется с помощью первичного, вторичного и третичного регулирования частоты.

Первичное, вторичное и третичное регулирование частоты. Первичное регулирование частоты обеспечивает наиболее быструю реакцию на изменение частоты и направлено на уменьшение возникшего отклонения частоты. Оно подразделяется на нормированное (НПРЧ) и общее (ОПРЧ). НПРЧ должно обеспечивать наиболее точное поддержание частоты, используя резервные мощности выделенных для этой цели энергоблоков, и выполняет регулирование, как правило, по астатической характеристике. ОПРЧ реагирует на отклонения частоты, превышающие их зону нечувствительности, и ограничивает отклонения частоты в системе при её существенных колебаниях.

Все энергоблоки ТЭС должны участвовать в ОПРЧ. Для этого они должны удовлетворять жестким требованиям по динамике изменения мощности в переходных режимах. Так если в результате отклонения частоты требуется мобилизация резервов первичной мощности величиной 10% от $P_{ном}$, динамика изменения мощности должна быть следующей: выдача половины величины резервов мощности за время не более 30 с и выдача всех резервов мощности за время не более 5-7 минут.

Для вторичного регулирования, задачами которого являются регулирование перетоков активной мощности и восстановление резервов первичной мощности, требования по динамике изменения мощности намного мягче и для ТЭС составляют 1% от $P_{ном}$ /минуту с диапазоном изменения мощности $\pm 5\%$ от $P_{ном}$. Для третичного регулирования динамика не нормируется.

В условиях оптового рынка электрической энергии помимо требований [1] должны учитываться требования, предъявляемые стандартом [2] в части участия энергоблоков тепловых электростанций в автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков мощности (АВРЧМ). Следует обратить внимание, что для участия энергоблоков в первичном и автоматическом вторичном регулировании частоты требуется раздельное размещение резервов мощности. Для расширения регулировочного диапазона работы может потребоваться снижение технологического минимума энергоблока. Значительно сложнее обстоит дело с возможностями быстрой мобилизации данных резервов.

Структурная схема регулирования мощности ТЭС с устройством ГРАМ. Проведённые в качестве опыта весной 2013 г., а затем уже в рядовом порядке весной 2014 г. системным оператором (СО) комплексные мероприятия по переводу значительной части функций автоматического вторичного регулирования частоты и мощности на тепловые электростанции в паводковый период дали значительный экономический эффект. Данные мероприятия позволили получить не только экономический эффект в виде увеличения выработки электроэнергии (оценочно на 300 млн. кВт·ч), но и снизить последствия мощных половодий.

Энергоблоки, выделенные для данных целей, ещё за год до этого проходили конкурент-

ный отбор у СО на оказание услуг по АВРЧМ. Как показал опыт работ, проделанных ведущими компаниями ЗАО «Интеравтоматика», ОАО «Фирма ОРГРЭС» инженерная компания «КЭР-Автоматика» и др. необходимым предварительным этапом для внедрения автоматической системы регулирования мощности электростанции является модернизация систем регулирования мощности турбин с установкой современных электрогидравлических регуляторов, а также модернизация комплекса АСУ ТП с её переводом на программно-техническую базу.

Исследования в этой области имеют длинную историю. Особенно активно они проводились в 1980-е гг., и тогда уже наметилась тенденция построения систем регулирования по иерархическому принципу [3].

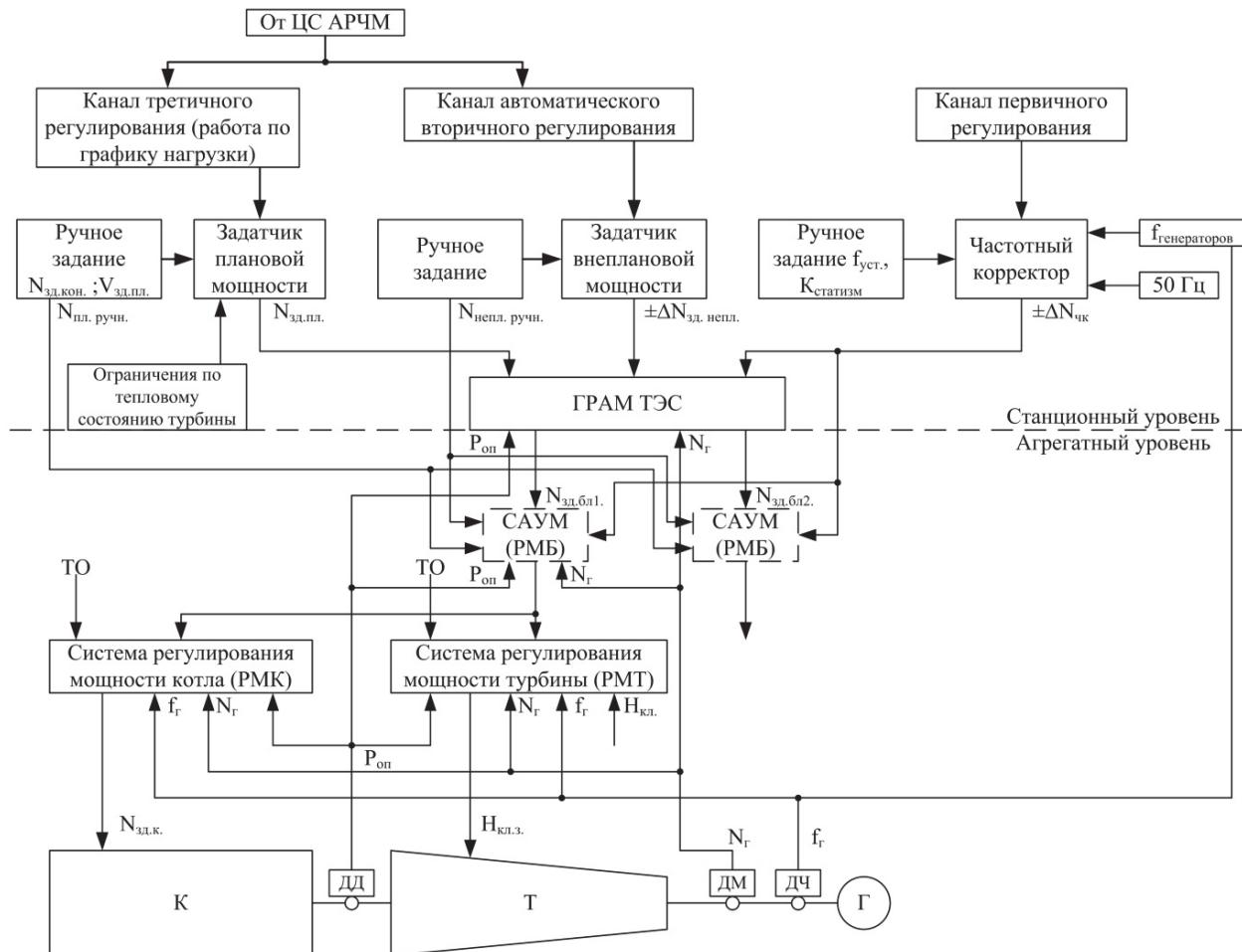


Рисунок 1 – Структурная схема АРМЧ тепловой электростанции с устройством ГРАМ

Система регулирования активной мощности тепловой электростанции должна содержать два уровня: станционный и агрегатный (блочный). Учитывая наличие в России оптового рынка электрической энергии, а также результаты выполненных проектов по привлечению ТЭС к АВРЧМ, проведённые вышеуказанными компаниями, возникло предложение по внедрению следующей системы регулирования активной мощности ТЭС (рисунок 1).

В ЕЭС России управление режимом работы энергосистемы осуществляется по централизованно-иерархическому принципу путём передачи команд и распоряжений диспетчеров СО объектам электроэнергетики. В соответствии с этой схемой станция осуществляет приём вторичного и третичного задания от ЦС (ЦКС) АРЧМ. Данные задания направляются в блок группового регулирования активной мощности (ГРАМ), где осуществляется расчёт заданий на энергоблоки с учетом имеющихся у них регулировочных возможностей.

Входными сигналами для блока ГРАМ являются заданные вручную или от ЦКС АРЧМ задания плановой и внеплановой мощности, и значение частоты, измеряемое на шинах станции. Выходными сигналами являются сформированные задания активной мощности для каждого энергоблока. Это задание выполняется системой автоматического управления мощности (САУМ) энергоблока или регулятором мощности блока (РМБ), который формирует

задания системы регулирования мощности котла (РМК) и системе регулирования мощности турбины (РМТ). Сигналами обратной связи для блока ГРАМ являются текущая мощность генератора N_r и давление острого пара в паропроводе $P_{оп}$. В случае отказа или появления неисправностей в блоке ГРАМ производится перевод энергоблоков на ручной ввод планового и внепланового задания. Первичное регулирование в таком случае осуществляется частотным корректором регуляторов турбин.

Структурная схема алгоритма ГРАМ для КЭС. Процесс группового регулирования активной мощности для группы энергоблоков состоит из пяти этапов, повторяющихся циклически (рисунок 2).

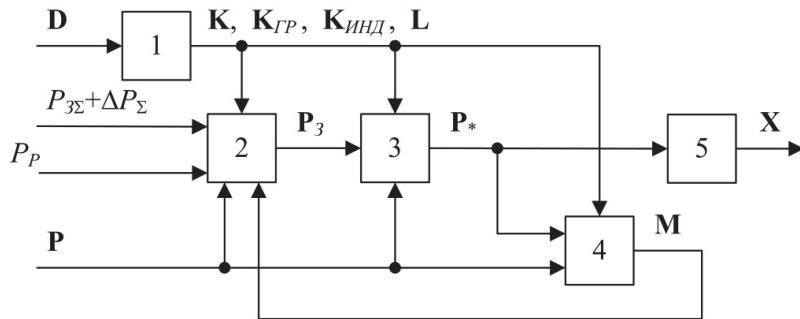


Рисунок 2 – Алгоритм ГРАМ для ТЭС: 1-этап определения состава управляемых энергоблоков; 2-этап расчёта статических заданий активной мощности; 3-этап расчёта динамических заданий активной мощности; 4-этап выявления ошибок управления; 5-этап передачи управляющих воздействий от ГРАМ к САУМ; D -вектор дискретных сигналов, характеризующих режимы работы энергоблоков; $P_{\Sigma\Sigma}$ -задание активной мощности группы; P -вектор измеренных активных мощностей; K -множество номеров энергоблоков в составе группы, управляемых ГРАМ (групповое или индивидуальное управление); $K_{гр}, K_{инд}, L$ -множества номеров энергоблоков в составе группы на групповом, индивидуальном и ручном управлении, соответственно; M -множество номеров энергоблоков, для которых выявлены ошибки управления; P_3, P_* -векторы статических и динамических заданий активной мощности энергоблоков, соответственно; P_p -вектор вторичных и первичных резервов, размещаемых на энергоблоках; X -вектор управляющих сигналов на САУМ энергоблока

На этапе 1 происходит определение состава управляемых энергоблоков. Энергоблок считается управляемым, если он работает в режиме СГ в составе группы либо на индивидуальном управлении через ГРАМ, а также отсутствует входной дискретный сигнал «разгрузка по активной мощности».

На этапе 2 выполняется расчет статических заданий активной мощности энергоблоков. Под статическим заданием здесь понимается требуемая мощность генератора в установившемся режиме. Статическое задание может рассчитываться с учетом оптимального распределения по критерию расхода топлива, атмосферных выбросов, надежности основного оборудования. Руководствуясь критериями оптимизации распределяется только плановое задание по мощности, внеплановое распределяется между энергоблоками пропорционально размещаемым вторичным резервам. Если мощность станции возрастает, то мощность отдельного энергоблока уменьшаться не должна.

Величина P_3 ограничивается границами регулировочного диапазона, а также величиной первичного и вторичного резерва, размещаемого на энергоблоках, выделенных для автоматического вторичного и первичного регулирования.

Затем, на этапе 3, выполняется расчет динамических заданий активной мощности энергоблоков. Динамические задания формируются на основе статических заданий и уставок по скорости изменения мощности конкретных энергоблоков. Чтобы уменьшить колебания суммарной активной мощности группы в установившемся режиме для каждого энергоблока предусматривается зона нечувствительности. Один из блоков работает без зоны нечувствительности.

На этапе 4 выявляется ошибка управления энергоблоком (называемая также ограничением по активной мощности). Она фиксируется при условии превышения разности измеренного значения мощности и динамического задания с величиной уставки срабатывания.

На этапе 5 производится передача управляющих воздействий в САУМ энергоблока.

Управляющие сигналы, соответствующие динамическому заданию, передаются в САУМ энергоблока. Предусматривается запись сигнала и последующая его архивация.

Заключение. Аппаратно блок ГРАМ должен являться унифицированным компонентом для любой ТЭС. Поскольку системы регулирования активной мощности энергоблоков имеют существенные различия, соответствующим образом должны отличаться и алгоритмы управления системами регулирования мощности котла и турбины. Все эти особенности должны учитываться при адаптации программного обеспечения ГРАМ к конкретному энергоблоку.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СТО 59012820.27.100.003-2012. Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования / ОАО «Систем. оператор единой энергет. системы». -Введ. в действие 05-12-2012. -М.

2 СТО 59012820.27.100.002-2013. Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности / ОАО «Систем. оператор единой энергет. системы». -Введ. в действие 25-04-2013. -М.

3 Барзам, А.Б. Системная автоматика / А.Б. Барзам. -4-е изд., перераб. и доп. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -446 с.: ил.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: *групповой регулятор активной мощности, тепловая электрическая станция, первичное регулирование, микропроцессорная система, вторичное регулирование*

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глазырин Глеб Владимирович, канд. техн. наук, главный специалист ЗАО «ИАЭС»
Шаюк Сергей Михайлович, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Присекин Александр Игоревич, техник ФГБОУ ВПО «НГТУ»
630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ВЫБОРА ОЧЕРЕДНОСТИ ОТКЛЮЧАЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ И НАГРУЗКИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.Н. Федосов, М.В. Петрушков, Д.С. Ташлыков, В.А. Чумаков

APPROACH TO DEVELOPMENT AND REALISATION OF ALGORITHM OF SWITCHABLE GENERATION AND LOAD PRIORITY SELECTION

Institute of power system automation
A.N. Fedosov, M.V. Petrushkov, Tashlykov, V.A. Chumakov

The basic unified approach of queuing switchable generators and loads to local automatics of instability prevention and adaptation of this approach to specific objects such as Kharanorskaya power station, Boguchanskaya hydro power station and Sayano-shushenskaya hydro power station is considered.

Keywords: emergency control, local automatics of instability prevention, loads switching, generation switching

Рассмотрены основные унифицированные подходы к формированию очереди отключения генераторов и нагрузки для локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости, а также адаптация этих подходов к конкретным объектам управления на примере Харанорской ГРЭС, Богучанской ГЭС и Саяно-Шушенской ГЭС.

Одной из основных тенденций в развитии устройств противоаварийного управления в энергетике на сегодняшний день является унификация подходов к решению задач ПАУ. Тем не менее, существуют задачи, оптимальное решение которых зависит от ряда конкретизирующих факторов, таких, как схема распределительного устройства объекта, схема выдачи мощности станции, участие объекта в реализации внешних управляющих воздействий и т.д. Таким образом, при разработке устройств ПАУ необходимо соблюдать разумный баланс между унификацией технических и программных решений и их уникальностью, в применении на конкретном объекте управления.

В настоящее время ведется реконструкция и замена оборудования на объектах ОЭС Сибири таких как Саяно-Шушенская ГЭС, Харанорская ГРЭС, а также завершающий этап строительства Богучанской ГЭС. На данных объектах ЗАО «ИАЭС» выполнило полный объем работ от проектирования до внедрения оборудования противоаварийной автоматики.

Одним из основных видов управляющих воздействий (УВ) для реализации противоаварийного управления является отключение генераторов (ОГ) и отключение нагрузки (ОН). В связи с этим возникла необходимость разработки алгоритма выбора очередности отключе-

чаемой генерации и нагрузки, который с одной стороны являлся бы унифицированным, а с другой стороны учитывал особенности конкретного объекта. Учет технических особенностей объекта позволяет выполнить алгоритм реализации УВ более гибким, минимизировать количество ручных операций и снизить влияние «человеческого фактора». Оптимальное решение данной задачи зависит от ряда факторов, как например схема распределительного устройства объекта, схема выдачи мощности станции, участие объекта в реализации внешних управляющих воздействий.

Суть алгоритма заключается в автоматизации процесса определения приоритетных генераторов для использования их в качестве УВ. Критериями приоритетности являются: исходно заданная очередность, загрузка генератора выше определенной величины (по умолчанию средней), максимальная мощность гидрогенератора (ГГ), топология сети объекта. В процессе разработки достигнут результат, позволяющий адаптировать алгоритм под особенности практически любого объекта за счет настройки критериев приоритетности (суммарности нескольких критериев). Для полноценного функционирования алгоритм учитывает состояние, режим работы генератора, отсутствие запрета на отключения данного генератора.

Как показала практика, разработанный унифицированный алгоритм выбора очередности отключения генераторов также подходит для реализации выбора очередности отключения нагрузки.

Далее рассмотрим конкретные примеры реализации.

Саяно-Шушенская ГЭС (СШГЭС). После аварии выдача мощности станции ведется восстановленными гидрогенераторами с номиналом 640 МВт. Практически завершен процесс перевода присоединений из ОРУ-500 кВ в КРУЭ-500 кВ, а также установлен комплекс ЛАПНУ, позволяющий увеличить выдачу мощности станции до 5200 МВт (для справки: до аварии МДП схемы выдачи мощности СШГЭС была 4500 МВт).

Учитывая, что ГЭС находится в центральной части ОЭС Сибири где достаточно развита генерация, и кроме того гидрогенераторы (ГГ) на СШГЭС будут участвовать в управлении от смежных комплексов, проектные решения в части реализации автоматики на данном объекте традиционные. Особенностью объекта в части реализации команд ОГ является то, что выбираемая очередность отключения генераторов используется под нужды управления не только ЛАПНУ, но и АОПЧ, а также АОПО.

Традиционно для целей подбора очередности ОГ выделялись конкретные генераторы, для которых обеспечивался заданный уровень нагрузки в 580 МВт. За этим следует, что введение их режима будет осуществляться практически вручную. В качестве альтернативного варианта предложена автоматизация процесса подключения генераторов к ступеням ОГ в устройстве локальной противоаварийной автоматики предотвращения нарушения устойчивости (ЛАПНУ). Предусмотрен специальный алгоритм выбора отключения исходя из максимальной загрузки генераторов. То есть высший приоритет на отключение генератора не постоянен и зависит от текущей загрузки по активной мощности каждого генератора. Чем больше активная мощность, тем выше приоритет. Исключением является только генераторы на которые введен запрет на отключение от ЛАПНУ оперативным персоналом станции через автоматизированное рабочее место (АРМ). После автоматического распределения приоритетов производится формирование очередности отключения в соответствии с требованием ГОСТ Р 55105-2012 Противоаварийная автоматика пункт 4.4.1.3 соответственно УВ, состоящих из нескольких ступеней, ступени с большим объемом УВ должны включать в себя ступени с меньшим объемом УВ. Для реализации данного алгоритма в ЛАПНУ Саяно-Шушенской ГЭС введена доаварийная информация о состоянии и загрузке всех генераторов по активной мощности.

В настоящее время планируются работы, которые позволят выполнить автоматическое определение количества отключаемых генераторов станции по фактической их загрузке. При этом возможно будет учесть ограничения, возникающие при формировании групп участвующих во вторичном регулировании под управлением ГРАМ, а также автоматизировать присвоение приоритетности отключаемых генераторов в зависимости текущей схемы сети, от вида и места повреждения, что особенно актуально при сохранении динамической устойчивости в ремонтных режимах. Безусловно, подобные подходы требуют отдельной проработки в части дополнительных обосновывающих расчетов, процесса доработки алгоритмов, проведения заводских испытаний и согласования с Системным оператором.

Богучанская ГЭС (БоГЭС). При выходе на номинальный напор данная станция будет

работать 9 гидроагрегатами, номинальной мощностью по 330 МВт каждый. Данную станцию из-за особенностей ее географического положения не планируется привлекать к реализации внешних управляющих воздействий (УВ), что снимает необходимость ведения режимов генераторов по активной мощности в заданных пределах. Кроме того, предполагался достаточно длительный период работы станции на неплановых напорах, что делает нестабильной зону кавитации, а также группового регулирования активной мощности. Также в зависимости от поступающего пускового органа производится выбор группы генераторов для отключения из КРУЭ 500 кВ или КРУЭ 220 кВ. Исходя из вышесказанного, были выдвинуты основные требования к разработке алгоритма очередности отключения генераторов. За основной показатель взята средняя загрузка генераторов станции

$$P_{cp} = \frac{\sum P_{ri}}{n_r}, \quad (1)$$

где P_{cp} – средняя загрузка всех генераторов в работе;

P_{ri} – текущая загрузка генератора;

n_r – количество генераторов в работе.

В очередь отключения берутся только те генераторы, которые включены, не работают в режиме синхронного компенсатора (СК) и не выведены из очереди персоналом станции. Очередь сортируется таким образом, что генераторы, имеющие мощность больше средней переносятся в начало очереди, остальные – в конец

$$P_{тек.зен} > P_{cp}; P_{тек.зен} < P_{cp}. \quad (2)$$

В результате в первую очередь под отключение от противоаварийной автоматики попадут генераторы с мощностью средней и выше средней. Данные условия освобождают от необходимости ведения режима генераторов в соответствии с расчетной отключаемой мощностью и обеспечивают точность реализации управляющих воздействий. Далее сформированная очередь разбивается по командам ОГ таким образом, что каждая последующая ступень будет отключать только один дополнительный генератор в соответствии с очередью, то есть первая ступень – первый генератор, вторая ступень – первый и второй генератор и т.д.

$$\begin{aligned} O\Gamma 1: & Gi_k; \\ O\Gamma 2: & Gi_k + Gi_{k+1}; \\ O\Gamma 3: & Gi_k + Gi_{k+1} + Gi_{k+2}; \\ & \dots \\ O\Gamma n: & Gi_k + Gi_{k+1} + Gi_{k+2} + \dots + Gi_n. \end{aligned} \quad (3)$$

Итерация или цикл расчета алгоритма ведется производится по факту изменения информации входных параметров алгоритма: мощности или состояния генератора, работы в режиме синхронного компенсатора (СК), оперативного вывода генератора из очереди отключения.

Также предусмотрена возможность задания приоритета для каждого генератора, которая позволяет учесть такие параметры как схему сети, ресурс выключателя, состояние под пятника и прочие решения оперативно-эксплуатационного персонала.

Харанорская ГРЭС (ХарГРЭС). Харанорская ГРЭС является самым мощным объектом генерации в восточной части Забайкальской энергосистемы. Малая мощность данного энергорайона и не развитое сетевое хозяйство выдвинули необходимость учета текущего значения отклонений нагрузок и генерации. В том числе возникло требование, учесть остаточное значение мощности собственных нужд после отключения генератора. Это позволило минимизировать объем отключаемой нагрузки при ликвидации недопустимых значений небаланса по активной мощности. Выбор управляющих воздействий при ликвидации небаланса производится в два этапа:

1 Определение необходимой мощности балансировки в зависимости от текущего состояния линий, генераторов и выбранной группы уставок;

2 Выбор конкретных нагрузок под отключение или управлений на вставку постоянного тока (ВПТ) ПС Могоча по значению мощности, необходимой для балансировки и доступности управлений.

Выбор ступени отключения нагрузки производится по принципу II-ДО на основании бланка уставок Забайкальского РДУ, исходя из принимаемых телесигналов и телеизмере-

ний. Параллельно этому, специальный алгоритм подбора очередности отключения нагрузки распределяет управления по ступеням отключения нагрузки (ОН и управление ВПТ). Учитывая слабую связь между Забайкальской и Бурятской энергосистемами, и недопустимость значительных набросов мощности на данную электропередачу, данный алгоритм с одной стороны обеспечивает непревышение допустимого перетока по смежным сечениям, а с другой – наиболее точную балансировку с минимальным отключением потребителей. Рассмотрим этот алгоритм подробнее.

Входными данными алгоритма подбора очередности отключения нагрузки являются:

- 1 Замеры мощности блоков Харанорской ГРЭС;
 - 2 Телесигналы, разрешающие или запрещающие воздействие на конкретный объект управления;
 - 3 Величина мощности управляемых объектов;
 - 4 Величина допустимого небаланса мощности на смежных сечениях;
 - 5 Величина послеаварийной мощности собственных нужд.
- Мощность каждой ступени ОН изначально рассчитывается по формуле

$$P_{yb} = \sum_{i=1}^n P_{bl(i)} - P_{neb}, \quad (4)$$

где P_{yb} – минимальное значение объема УВ на отключение нагрузки;

$P_{bl(i)}$ – замер мощности блока;

P_{neb} – величина допустимого небаланса мощности на смежных сечениях.

В УВК АДВ Харанорской ГРЭС заложено шесть пусковых органов требующих отключения нагрузки. Первые три пусковых органов соответствуют одиночным отключениям блоков, а четвертый, пятый и шестой – отключениям сразу двух блоков. Так, например, мощность небаланса при работе пускового органа №4 будет равна:

$$\Delta P_{yb4} = P_{1bl} + P_{2bl} - P_{neb}. \quad (5)$$

Так как замеры мощности блоков ГРЭС производятся на высокой стороне трансформаторов, также необходимо учесть отключение и перевод на другие источники питания собственных нужд при отключении блоков.

Рассмотрим такую ситуацию на примере отключения блока. Исходя из гарантированного наброса мощности на смежные сечения, необходимо учитывать уменьшение генерации в узле нагрузки при наличии остаточного значения собственных нужд (СН) отключившегося блока. При этом максимальный объем недостатка управления будет равен остаточной мощности СН блока. Поясняющая схема приведена на рисунке.

На рисунке видно, что после отключения одного блока, его собственные нужды переводятся на другой блок. Таким образом, значение выдаваемой мощности станции уменьшается не на 100 МВт, а на 106 МВт, что и должно быть учтено при определении мощности ОН.

С технической точки зрения принятый вариант замера мощности выбран оптимально. В данном случае, возможно, точно определить величину мощности, которую необходимо балансировать, учитывая, что остаточная мощность собственных нужд величина постоянная. Рассмотрим альтернативные способы замера мощности генератора для решения данной задачи. Вариант точки замера на генераторном напряжении мощности ТГ вызвал бы ряд неопределенностей из-за нелинейной зависимости нагрузки собственных нужд от мощности генератора, что сделало бы невозможным точно определить создаваемый небаланс мощности. Вариант измерения разницы между мощностью генератора и отбора мощности на ТСН также имеет существенный дефект в случае перевода собственных нужд на резервный ТСН. Все варианты предполагают учет остаточной величины собственных нужд.

Исходя из этих соображений, исходную формулу (4) можно скорректировать

$$P_{yb} = \sum_{i=1}^n (P_{bl} + P_{(i)CH}) - P_{neb}. \quad (6)$$

На основании этой формулы было принято техническое решение, позволяющее правильно учитывать остаточную мощность собственных нужд.

Имея такие входные данные, алгоритм подбора очередности отключения нагрузки формирует очередь отключения для каждой ступени ОН, сортируя доступные управления по следующим критериям:

- Доступность (включено или нет) управлений;
- Приоритеты, заданные на этапе настройки;

– Значение мощности управления, обеспечивающей минимально необходимый объем отключаемой мощности.

Также, любое из управлений можно исключить из очереди какой-либо ступени ОН.

Сочетание этих критериев позволило сконфигурировать УВК АДВ для управления в первую очередь вставкой постоянного тока (ВПТ) с учетом ее доступности, затем отключения нагрузок 1, 2, 4 (с учетом их доступности), и только потом нагрузки 3. Причем в алгоритме заложено, что воздействие на ВПТ

более приоритетно, нежели отключение потребителей.

При расчете, в очереди с низшим приоритетом, выполняется перестановка управлений для минимизации превышения необходимой отключаемой мощности. Так, например, если необходимо отключить 30 МВт, а имеющиеся управлении – 15 МВт, 12 МВт, 10 МВт, 5 МВт, 2 МВт, то будут выбраны 15 МВт, 10 МВт и 5 МВт.

Данные подходы позволили оптимизировать управление в ЛАПНУ Харанорской ГРЭС, обеспечив гарантированную балансировку мощности при отключении генераторов, и, в тоже время, минимизацию затрат при отключении потребителей.

Таким образом, разработанный унифицированный алгоритм выбора очередности отключения генерации и нагрузки показал свою гибкость и применимость на различных объектах. Это позволило добиться желаемого результата при минимальных временных и ресурсных затрат, включая время необходимое для тестирование нового программного обеспечения. Алгоритм служит модульной частью программного обеспечения управляющего вычислительного комплекса автоматики дозировки воздействия (УВК АДВ), который реализует функции ЛАПНУ. В качестве заключения хотелось бы отметить основные преимущества унифицированного алгоритма:

- 1 Сокращение времени адаптации к конкретному объекту управления.
- 2 Повышение надежность устройства за счет применения апробированных решений.
- 3 Сокращение времени опытной эксплуатации.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября – 2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: противаварийная автоматика, локальная автоматика предотвращения нарушения устойчивости, отключение нагрузки, отключение генерации

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Федосов Алексей Николаевич, главный специалист ЗАО «ИАЭС»
Петрушков Михаил Викторович, инженер ЗАО «ИАЭС»
Ташлыков Денис Сергеевич, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Чумаков Вадим Анатольевич, ведущий инженер ЗАО «ИАЭС»
630132, г. Новосибирск, ул. Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

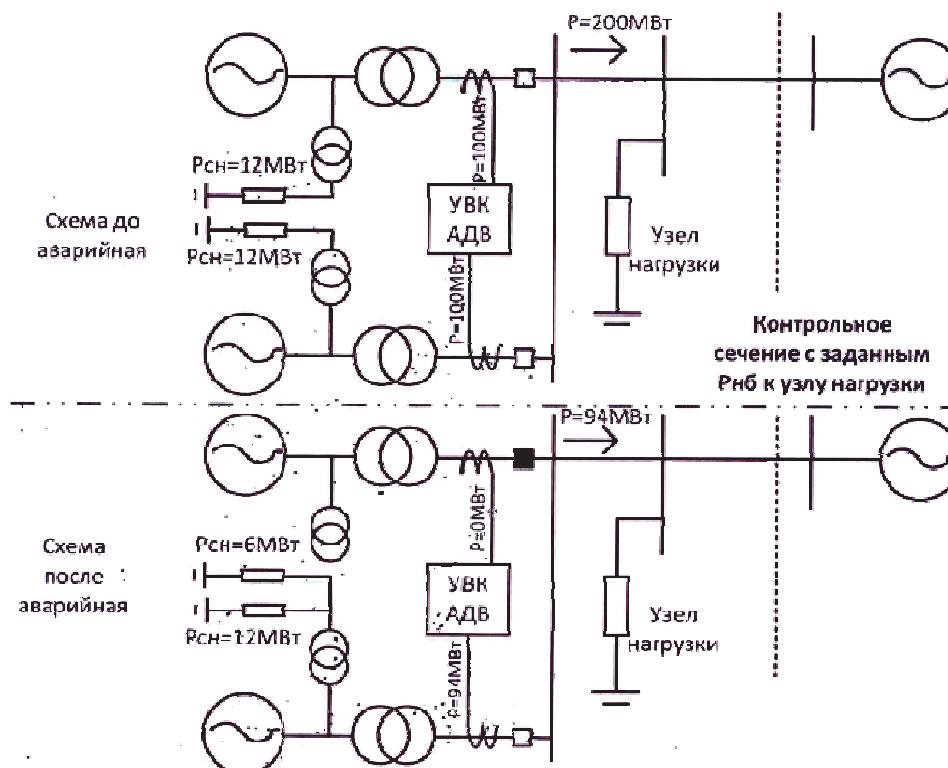


Рисунок – Модель аварийного отключения блока

ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.К. Ландман, М.В. Петрушков, А.Э. Петров, О.О. Сакаев,
А.В. Субботин-Чукальский

APPROACH TO THE DEVELOPMENT OF FAULT-TOLERANT DISTRIBUTED COMPUTING SYSTEM FOR THE PURPOSE OF EMERGENCY CONTROL

Institute of power system automation

Landman, M.V. Petrushkov, A.E. Petrov, O.O. Sakaev, Subbotin-Chukalskiy

For wide range of power units control tasks the characteristic feature is the need for faultless operation and high processing speed of control system provision. One of the perspective approaches to ensure reliability and speed is the use of distributed computing systems (CS). Currently, JSC "IAES" accumulated both theoretical and practical experience in the field of distributed CS for the purposes of emergency control in the power sector. The approach to the development of distributed CS, the basic principles of operation of the system, including parallelization and redundancy problems, implementation of the basic functions, as well as issues of adaptation of the system to a specific hardware are discussed in the paper.

Keywords: emergency control, distributed computing, processing speed, reliable operation

Для широкого спектра задач управления электроэнергетическими объектами характерны необходимость обеспечения бесперебойного функционирования системы управления и высокого быстродействия. Одним из перспективных методов обеспечения надежности и быстродействия при создании систем управления является использование распределенных вычислительных систем (ВС). В настоящее время, в ЗАО «ИАЭС» накоплены как теоретические, так и практические наработки в области создания распределенных ВС для целей противоаварийного управления в энергетике. Доклад продолжает данную тематику и рассматривает подходы к разработке распределенной ВС, основные принципы функционирования данной системы, в том числе распараллеливание и резервирование задач, подходы к реализации основных функций, а также вопросы адаптации разработанной системы к конкретным техническим средствам.

Для широкого спектра задач управления электроэнергетическими объектами характерны необходимость обеспечения бесперебойного функционирования системы управления и высокого быстродействия [1, 2]. В соотношение между этими понятиями вкладывается различный смысл, в зависимости от задачи, решаемой конкретной системой, с учетом иерархии управления.

Рассмотрим предметную область противоаварийного управления (ПАУ) энергосистемой. На верхнем уровне иерархии ПАУ решается задача выбора управляющих воздействий (УВ), которые должны быть реализованы конкретными устройствами на нижнем уровне иерархии, при фиксации на данном уровне аварийных возмущений в энергосистеме, с целью минимизации ущерба от этих возмущений. На сегодняшний день, с учетом развития алгоритмической базы в части применения способа I-ДО [3], выбор управления становится ресурсоемкой математической задачей, максимальная длительность цикла которой ограничивается стандартом [4] не более 30 с, при этом на верхнем уровне, как правило, нет необходимости в непосредственной выдаче управляющих сигналов.

В свою очередь, быстродействие реализации управления устройствами нижнего уровня находится в пределах нескольких десятков миллисекунд, с учетом времени срабатывания промежуточных реле. В случае, если устройства нижнего уровня осуществляют собственный цикл выбора управления по способу II-ДО в целях резервирования [5], длительность данного цикла определяется частотой обновления (временем доставки) локальной доаварийной информации, которая нормируется стандартом [4] в пределах 1-2 с.

Таким образом, в рамках одной системы управления решаются два класса задач, которые могут быть условно разделены по соотношению параметров быстродействия и надежности на расчетные задачи и задачи реального времени.

Одним из перспективных методов обеспечения надежности и быстродействия при создании систем управления является использование распределенных вычислительных систем (ВС). Это позволяет обеспечить требуемое быстродействие для расчетных задач, за счет распараллеливания вычислений, и требуемую надежность функционирования для задач реального времени, за счет резервирования.

Работы в данном направлении ведутся при активном участии специалистов ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем» (ИАЭС) с 1980-х гг. прошлого столетия. Благодаря глубокой теоретической проработке вопросов создания распределенных вычислительных систем управления, в последние годы была разработана универсальная программная платформа для целей противоаварийного управления.

Подходы к разработке распределенной вычислительной системы управления. Как известно, распределенная ВС представляет собой совокупность вычислительных машин (ВМ), или узлов, объединенных сетью передачи данных. Соответственно, конкретные функции, выполняемые системой управления, могут быть распределены по узлам ВС. Так, например, при разработке системы управления, решающей расчетные задачи на верхнем уровне иерархии управления, целесообразно разделить функции следующим образом:

- ввод и подготовка исходных данных для расчета;
- расчет;
- объединение результатов расчета;
- взаимодействие с системами управления нижнего уровня;
- взаимодействие с автоматизированным рабочим местом (АРМ) пользователя;
- взаимодействие с внешними системами управления и мониторинга (АСУТП и пр.);
- функция расчета, в свою очередь, может быть разделена между несколькими узлами по определенным критериям, с целью одновременного выполнения расчетных задач для однотипных элементов управляемого объекта для обеспечения требуемого быстродействия (оставим пока за скобками параллелизм математических операций). Функции, касающиеся обмена информацией с внешними системами, в ряде случаев целесообразно объединять на одном узле. Такой узел, выполняющий функции сбора исходной информации и подготовки ее для расчета, называют, в терминах автоматизированных систем управления, предвключенной ВМ;

– в составе ВС необходимо также предусмотреть некоторое количество резервных узлов, готовых принять на себя функции узлов, вышедших из строя либо остановленных на профилактику. Укрупненная структура расчетной распределенной ВС приведена на рисунке 1.

В свою очередь, в системе управления, решающей задачи реального времени на нижнем уровне иерархии управления, обеспечивается выполнение следующих функций:

- ввод и подготовка исходных данных для локального расчета (при необходимости);
- локальный расчет (при необходимости);
- взаимодействие с системами управления верхнего уровня;
- получение аварийных сигналов и выдача управляемых сигналов;
- взаимодействие с АРМ пользователя;
- взаимодействие с внешними системами управления и мониторинга (АСУТП и пр.).

В данном случае, с точки зрения обеспечения надежности, целесообразно выделить функции реального времени на совокупность резервированных узлов (не менее двух). Остальные функции могут быть вынесены на предвключенную ВМ, которая также должна быть резервирована (рисунок 2). При сравнительно небольшой вычислительной нагрузке, функции предвключенной

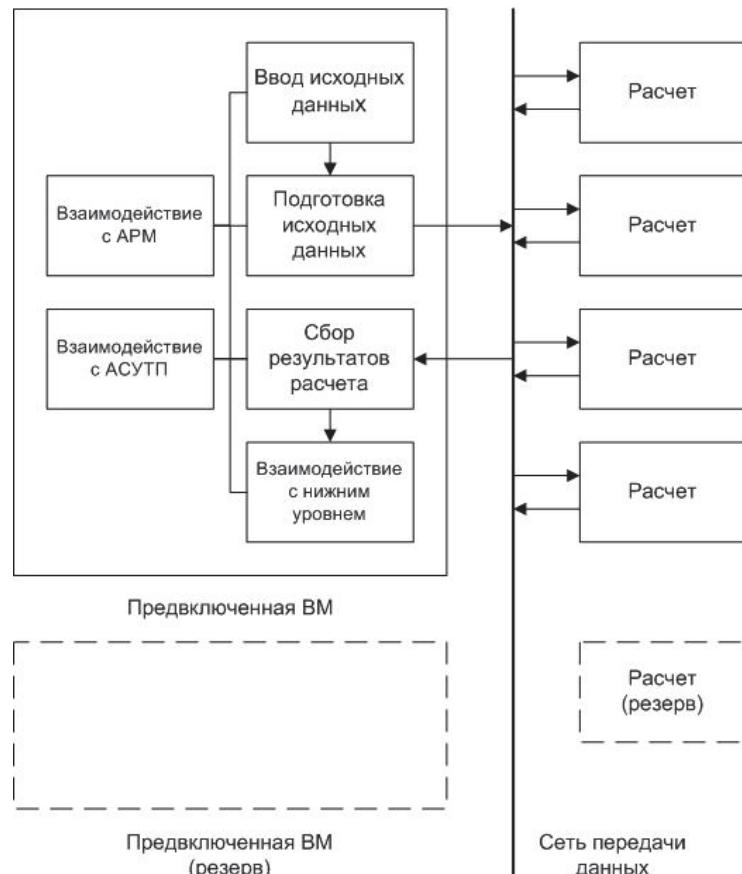


Рисунок 1 – Структура расчетной распределенной системы управления

ВМ могут быть совмещены с функциями реального времени.

В системах управления реального времени, как правило, возникает необходимость непосредственного взаимодействия с объектом управления при помощи дискретных сигналов. В связи с этим, в распределенной системе управления функции реального времени должны выполняться, как минимум, на двух физических узлах системы, оснащенных соответствующим аппаратным обеспечением. При этом место установки системы управления, как правило, вносит определенные физические ограничения по максимальному количеству микропроцессорных устройств в одном шкафу управления, а также по общему количеству шкафов. Данный вопрос может быть решен только за счет архитектуры системы, то есть совмещения функций.

В расчетных распределенных системах управления, не требующих непосредственного взаимодействия с управляемым объектом, могут быть применены современные технологии виртуализации. При этом технологические функции распределяются по виртуальным машинам, запускаемым на нескольких (по условиям обеспечения резервирования, минимум на двух) высокопроизводительных серверах. Это позволяет, с одной стороны, обеспечить необходимое быстродействие системы, как за счет распределения типовых задач по различным узлам, так и за счет распараллеливания математических операций, поскольку под одну виртуальную машину может быть выделено несколько процессорных ядер. Кроме того, виртуализация дает возможность абстрагироваться от аппаратного обеспечения. Таким образом, технические средства могут быть заменены в ходе дальнейшего развития системы, с целью повышения производительности, либо в связи с их устареванием.

С точки зрения разработчика, виртуализация позволяет также проводить отладку и тестирование технологических функций практически на любом аппаратном обеспечении, однако тестирование распределенной системы в части быстродействия рекомендуется проводить на тех технических средствах, которые будут установлены на объекте, либо на полностью аналогичных.

Далее мы будем рассматривать подходы к разработке системы управления, которая может быть применена как для решения расчетных задач, так и для решения задач реального времени.

Постановка задачи. К разрабатываемой распределенной вычислительной системе управления предъявляются следующие требования:

- возможность выполнения узлами системы функций различных видов, как то: подготовка исходных данных, расчетные задачи, задачи реального времени, взаимодействие с внешними системами;
- гибкость структуры системы, отсутствие централизованных элементов и «узких мест» на уровне архитектуры;
- возможность резервирования функций: передача всех функций или их части другим узлам системы при выходе из строя узла, выполнившего ранее эти функции (миграция технологических задач);
- возможность автоматизированного восстановления функций узла, вышедшего ранее из строя и затем восстановленного (обратная миграция технологических задач);
- возможность использования средств виртуализации при развертывании системы.

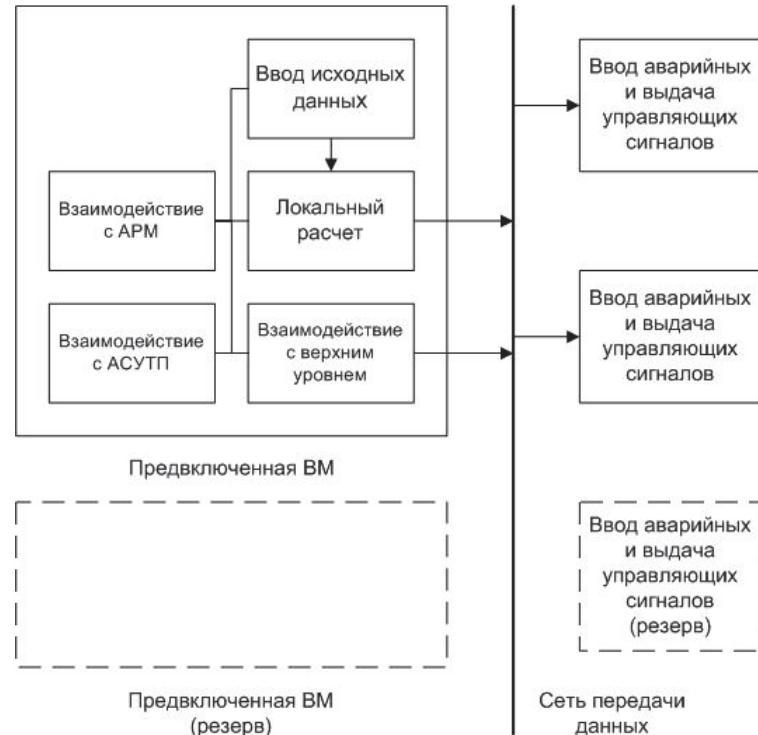


Рисунок 2 – Структура распределенной системы управления реального времени

Выбор операционной системы и стандартов разработки. Выбор операционной системы (ОС) производится, как правило, по следующим критериям:

- возможность обеспечения реального времени, для решения задач взаимодействия с управляемым объектом;
- поддержка стандартного стека сетевых протоколов, с возможностью работы на уровне IP и ниже;
- поддержка используемого аппаратного обеспечения и/или системы виртуализации;
- удобство разработки программного обеспечения, поддержка стандартов в данной области;
- удобство настройки и эксплуатации;
- наличие технической поддержки, перспективы развития, лицензирование;
- цена.

Как упоминалось выше, расчетные задачи, задачи взаимодействия с внешними устройствами и задачи реального времени в распределенной системе управления могут быть разделены по различным узлам. Следовательно, для каждого класса задач может быть выбрана наиболее подходящая ОС, например, Windows Embedded для расчетных задач, Debian Linux для задач взаимодействия с внешними устройствами и QNX 6 для задач реального времени. В связи с этим встает вопрос совместимости рассматриваемых ОС по интерфейсу прикладных программ. Для обеспечения совместимости целесообразно при программировании распределенной системы управления максимально следовать стандарту POSIX [6], предоставляющего стандартные, независимые от ОС, механизмы межпроцессного и сетевого взаимодействия, с переходом к системно-зависимым функциям только в том случае, если это неизбежно (например, при обработке прерываний). Кроме того, для технологических задач должны быть разработаны интерфейсы, инкапсулирующие функции нижнего уровня, для упрощения их переноса из одной операционной системы в другую.

Принципы определения состояния системы. Механизмы взаимодействия между узлами. От принципов программирования перейдем к архитектуре распределенной системы управления.

Казалось бы, существует стандарт МЭК 61850 [7], описывающий, в том числе, принципы взаимодействия между узлами распределенной системы [8], и сравнительно широко, на сегодняшний день, поддерживаемый производителями средств промышленной автоматизации. Однако, данный стандарт не удовлетворяет всем требованиям, изложенным в постановочной части. Прежде всего, МЭК 61850, при правильном проектировании, жестко и однозначно задает структуру вычислительной системы, не предусматривая возможности передачи каких-то функций другим узлам. Данный подход оправдан для узлов, непосредственно взаимодействующих с объектом управления, передающих управляющие сигналы и т.п., то есть решающих задачи реального времени, но при этом неудобен для решения других задач. Кроме того, состояние системы в целом в данном стандарте может быть определено лишь на верхнем уровне иерархии управления.

В связи с этим, было принято решение разработать собственные принципы определения состояния системы и, на основе этих принципов, механизмы взаимодействия между узлами, с возможным использованием наработок МЭК 61850 и других стандартов.

Итак, для определения состояния системы в целом в каждый момент времени, необходимо обеспечить ее наблюдаемость, то есть определение состояния каждого узла системы и своевременную доставку этой информации на все узлы. Логически, узлы должны быть связаны «каждый с каждым», что естественным образом приводит систему к топологии «шина».

Следовательно, необходимо организовать некую шину данных, в которую каждый узел системы периодически отправляет сообщение, однозначно определяющее текущее состояние узла (назовем его «слово состояния»), и откуда, в свою очередь, каждый узел получает слова состояния остальных узлов. Каждый узел из полученных им сообщений формирует у себя общее слово состояния системы. Таким образом, каждый узел независимо наблюдает и оценивает текущее состояние децентрализованной системы. Обмен состояниями узлов (и другими сообщениями, к которым могут быть предъявлены схожие требования) организован на базе групповой (multicast) рассылки UDP-сообщений, с использованием принципов, определенных стандартом МЭК 61850 (в части GOOSE-сообщений).

Для независимого контроля активности узлов, на каждом узле локально формируется так называемая маска активности узлов, по факту получения слова состояния от других узлов системы. Таким образом, кроме признака активности, формируемого и отправляемого

самим узлом, контролируется физическая доступность данного узла и, соответственно, физическая целостность канала связи.

Кроме обмена состояниями, узлам распределенной системы управления необходимо обмениваться данными произвольного, в зависимости от конкретной настройки, объема. Так, на расчетные узлы должны периодически поступать подготовленные исходные данные, а результаты расчета должны передаваться на предвключенную машину для их сведения и дальнейшей обработки. При этом: данные должны быть актуальными; данные должны поступать одновременно на расчетные машины; успешное получение данных должно подтверждаться.

Кроме того, при запуске узла он должен получать актуальные данные настройки.

Как видно, требования к обмену данными функционально подобны требованиям к обмену словами состояния. В связи с этим, обмен данными также организован на базе групповой рассылки UDP-пакетов, с использованием специально разработанного механизма подписок на данные, позволяющего сконфигурировать первоначальную загрузку всех необходимых данных на узел (по старту узла), периодическое обновление необходимых исходных данных на узле, сбор всех таблиц данных системы на определенном узле с целью архивирования, обмен сообщениями произвольного размера и т.п.

Управление функциями узлов системы. Передача функций, миграция задач. Частью конфигурации распределенной системы управления является также состав задач (программных модулей), запускаемых на определенных узлах системы. При этом часть задач, которые являются системообразующими, то есть формируют среду исполнения для технологических задач (например, механизмы обмена данными и подписок на данные), должна запускаться на всех узлах. В то же время расчетные задачи, задачи предвключенной машины, задачи реального времени должны запускаться только на предназначенных для этого узлах. Кроме того, для каждой задачи должна быть определена дисциплина поведения при фиксации сбоя в функционировании либо при невозможности запуска: количество попыток перезапуска задачи, необходимость перезапуска узла, возможность продолжения работы узла при остановленной задаче и т.п.

Функции запуска, останова, контроля состояния задач, запускаемых на конкретном узле распределенной системы управления, возлагаются на этот же узел. Однако, для принятия решения о том, какие задачи должны быть запущены на конкретном узле в данный момент времени, следует учитывать состояние системы в целом. Сбор информации о состоянии всех узлов на каждом узле децентрализованной ВС, с учетом времени ожидания, необходимого для принятия решения, требует значительных временных затрат, что приводит к необходимости выделения функции определения состояния ВС на отдельный узел, называемый арбитром системы. Арбитр, на основании текущей информации о состоянии системы, дает команды узлам на запуск и останов процессов. Функция арбитра является переходящей, текущий узел-арбитр определяется в результате выборов, проводимых с заданной периодичностью.

В случае выхода из строя одного из узлов распределенной системы управления, либо остановки узла для проведения регламентных работ, либо при нарушении физической связи с данным узлом необходимо передать все его функции другому узлу, с целью резервирования. Для того, чтобы обеспечить передачу функций (миграцию задач), в конфигурации системы описывается, на каких узлах каждая задача может запускаться, в какой последовательности (задающей приоритет узлов, с точки зрения выполнения данной функции), а также количество одновременно запущенных в системе экземпляров данной задачи.

Из опыта разработки дублированных устройств ПАУ [5] известно, что функции основного и резервного экземпляра одной и той же системообразующей или технологической задачи могут отличаться. Поскольку дублированная система управления является частным случаем вырожденной распределенной системы, необходимо предусматривать такую возможность и при создании более сложных систем. В связи с этим, для резервированной задачи с разделением функций, при конфигурировании системы указываются параметры запуска основного и резервного экземпляров, а также очередь узлов, на которых запускается данная задача, и максимальное количество запущенных экземпляров. Однако, очередь узлов здесь имеет иной смысл, по сравнению с простой миграцией задачи. На первом активном в очереди узле всегда запускается основной экземпляр задачи, в то время как на остальных узлах очереди запускаются резервные экземпляры.

Заключение. В настоящее время, в ЗАО «ИАЭС» разработана универсальная про-

Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока № 4 2014

граммная платформа для обеспечения функционирования технологических задач в распределенной вычислительной системе управления для целей противоаварийного управления. Ключевыми особенностями универсальной платформы являются:

- минимальная зависимость платформы от используемой операционной системы;
- возможность широкого использования средств виртуализации;
- возможность масштабирования платформы на устройства различных уровней иерархии противоаварийного управления;
- возможность создания гетерогенных ВС.

В современных условиях, ситуация на рынке программного и аппаратного обеспечения меняется крайне быстро. Так, еще десять лет назад снятие с производства программного продукта было редкостью, на сегодняшний день это один из рассматриваемых рисков, даже в сегменте промышленной автоматизации. Кроме того, риск внезапной потери доступности аппаратных и программных средств, в частности операционных систем, может быть связан и с политическими событиями последних нескольких месяцев. Снижение зависимости от используемой операционной системы позволяет застраховаться от подобных рисков.

Использование средств виртуализации дает, в свою очередь, независимость от аппаратного обеспечения для расчетных задач. Кроме того, данное направление актуально при разработке систем управления цифровыми подстанциями.

Объединение устройств ПА на единой платформе в пределах объекта в распределенную систему управления позволяет организовать обмен технологической информацией, архивирование, централизованное взаимодействие с внешними системами и т.п. В свою очередь, гетерогенность платформы позволяет выделить расчетные функции на виртуальные машины, а функции реального времени (например, ввод-вывод дискретных сигналов в контуре ПА) – на физические контроллеры.

В течение 2013-2014 гг. были проведены опыты по развертыванию ВС на базе универсальной платформы на физических серверах различной производительности (в том числе на безвентиляторных промышленных компьютерах) с использованием средств виртуализации Oracle VirtualBox и VMWare ESXi, с целью оценки временных характеристик обмена информацией внутри ВС, а также тестирования алгоритмов определения состояния системы и миграции задач. Коммерческое применение данной платформы планируется в ближайшем будущем. Так, в настоящее время проводятся работы по адаптации универсальной программной платформы для выполнения функций ЦСПА.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Программное обеспечение отказоустойчивых распределенных вычислительных систем для управления электроэнергетическими системами / А.Ф. Задорожный, М.С. Тарков, О.В. Захаркин, А.М. Петров, А.Э. Петров, О.О. Сакаев // Науч. проблемы трансп. Сибири и Дал. Востока. -2009. --№1: спец. вып. -С. 155-160.

2 Использование отказоустойчивых распределенных вычислительных систем для управления электроэнергетическими системами / А.К. Ландман, А.М. Петров, А.Э. Петров, О.О. Сакаев, А.Ф. Задорожный, М.С. Тарков // Сборник докладов международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». -СПб., 2011.

3 Перспективы совершенствования алгоритмов централизованной противоаварийной автоматики / А.К. Ландман, А.Э. Петров, А.С. Вторушин, Е.Ю. Попова, С.Г. Аржанников. // Сборник докладов международной научно-технической конференции «Современные направления развития систем релейной защиты и автоматики энергосистем». -Екатеринбург, 2013.

4 СТО 5901280.29.240.001-2011. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. -М., 2011.

5 Разработка интегрированной системы ПА ОЭС Сибири / А.К. Ландман, А.М. Петров, А.Э. Петров, О.О. Сакаев // Релейная защита и автоматика энергосистем, 2010: сб. докл. XX конф. (Москва, 1-4 июня 2010). -М., 2010. -С. 52-59.

6 The Open Group Base Specifications Issue 6, IEEE Std 1003.1-2004. General Information. Copyright © 2004 The IEEE and The Open Group.

7 IEC 61850-1. Communication networks and systems in substations. Pt. 1: Introduction and overview. Copyright © 2003 IEC.

8 IEC 61850-8-1. Communication networks and systems in substations. Pt. 8-1: Specific communication Service Mapping (SCSM) -Mappings to MMS (ISO 9506-1 and ISO 9506-2) and to ISO/ IEC 8802-3. Copyright © 2004 IEC.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: противоаварийное управление, распределенные вычисления, быстродействие, надежность функционирования

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Ландман Аркадий Константинович, канд. техн. наук, генеральный директор ЗАО «ИАЭС»
Петрушков Михаил Викторович, инженер ЗАО «ИАЭС»
Петров Алексей Эдуардович, заместитель генерального директора ЗАО «ИАЭС»

Сакаев Оскар Олегович, заведующий сектором ЗАО «ИАЭС»
Субботин-Чукальский Андрей Викторович, заведующий отделом ЗАО «ИАЭС»
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

СТРУКТУРА, НАЗНАЧЕНИЕ И ВАРИАНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

М.В. Данилов, А.Э. Петров, В.А. Чумаков

THE STRUCTURE OF AN ADAPTIVE SYSTEM SLTA. PURPOSE, ORGANIZATION OPTIONS

Institute of power system automation

M.V. Danilov, A.E. Petrov, V.A. Chumakov

In emergency management, an urgent task is to minimize the control actions to reduce unnecessary load tripping. To solve this problem the authors propose the creation of adaptive systems of special load tripping automatic (AS SLTA).

Keywords: emergency control automation, special load tripping automatic

В противоаварийном управлении актуальной задачей является минимизация управляющих воздействий с целью снижения излишнего отключения нагрузки. Для решения такой задачи предлагается создание адаптивных систем специальной автоматики отключения нагрузки (АС САОН).

Современные технологии управления режимами энергосистем должны повышать качество предоставляемых услуг конечному потребителю и обеспечивать разумное использование энергоресурсов и оборудования. В противоаварийном управлении актуальной задачей является минимизация управляющих воздействий с целью снижения излишнего отключения нагрузки и генераторов. Для решения такой задачи, в части воздействий на нагрузку потребителей, предлагается создание адаптивных систем специальной автоматики отключения нагрузки (АС САОН), на примере проектов, предусмотренных к реализации в Алтайской, Новосибирской и Норильско-Таймырской энергосистемах.

Существующие системы САОН, эксплуатируемые в энергосистемах, имеют жесткое распределение отключаемых потребителей по ступеням САОН. Это приводит к тому, что при суточном и сезонном изменении мощности нагрузки различных потребителей меняется реальный объем ступени САОН. В некоторых случаях объем одной и той же ступени САОН измеренной в различное время года и суток может отличаться в несколько раз. При этом за расчетный объем ступени САОН, который учитывается при выборе параметров срабатывания устройств ПА, как правило, принимается минимальное возможное значение каждой ступени САОН. Как следствие, в большинстве случаев срабатывание устройств ПА с действием на отключение нагрузки приводит к отключению нагрузки в большем, чем требуется в данных схемно-режимных условиях, объеме.

Предлагаемые к реализации адаптивные системы (АС) САОН, обеспечивают дозированное (в соответствии с заданным объемом воздействия) отключение нагрузки. При этом исключаются излишние объемы отключения нагрузки и минимизируется ущерб, наносимый потребителю при действии устройств ПА. Данные АС САОН были запроектированы в предварительном технико-экономическом обосновании реконструкции устройств ПА по операционным зонам Новосибирского и Алтайского РДУ. Кроме того, подобная АС САОН запроектирована, скомплектована и в настоящее время поставлена в Норильскую энергосистему для дальнейшего монтажа и наладки.

Варианты организации системы. В общем случае, АС САОН целесообразно применять в энергосистемах, в которых под САОН заведены разнородные потребители, имеющие переменные графики нагрузок в разрезе суток, недели месяца, года.

Задачей данной системы является подбор в реальном времени из имеющегося множества нагрузки, заведенной под отключение, ступеней в соответствии с заданными объемами воздействия, что позволяет исключить излишнее отключение нагрузки (ОН), чем минимизируется ущерб наносимый потребителю при действии устройств ПА. Задача выполняется путем автоматического контроля текущей мощности нагрузки, которую можно отключить средствами САОН, и учета данной информации в интеллектуальных алгоритмах выбора мест воздействия.

Система имеет иерархическую структуру. Верхним уровнем системы является головное устройство САОН, нижним уровнем – исполнительные устройства САОН (ИУ САОН) на объектах. В зависимости от состояния объекта управления, каналов передачи информации и команд управления, предлагаются два основных подхода к реализации системы: централизованный – с передачей непосредственно команд управления на ОН с верхнего уровня, и

координирующий – с передачей на нижний уровень текущей настройки. Основная задача верхнего уровня САОН: по информации, полученной с нижнего уровня, выполнить подбор очередей САОН под заданные объемы ступеней ОН. При подборе выполняется оптимизация искомого решения в соответствии с заданной целевой функцией (по мощности, по цене, по приоритетам и т.п.). На нижнем уровне контролируется мощности фидеров, заведенных под отключение, и реализуются ступени САОН (при поступлении команды) в соответствии с результатами подбора на верхнем уровне.

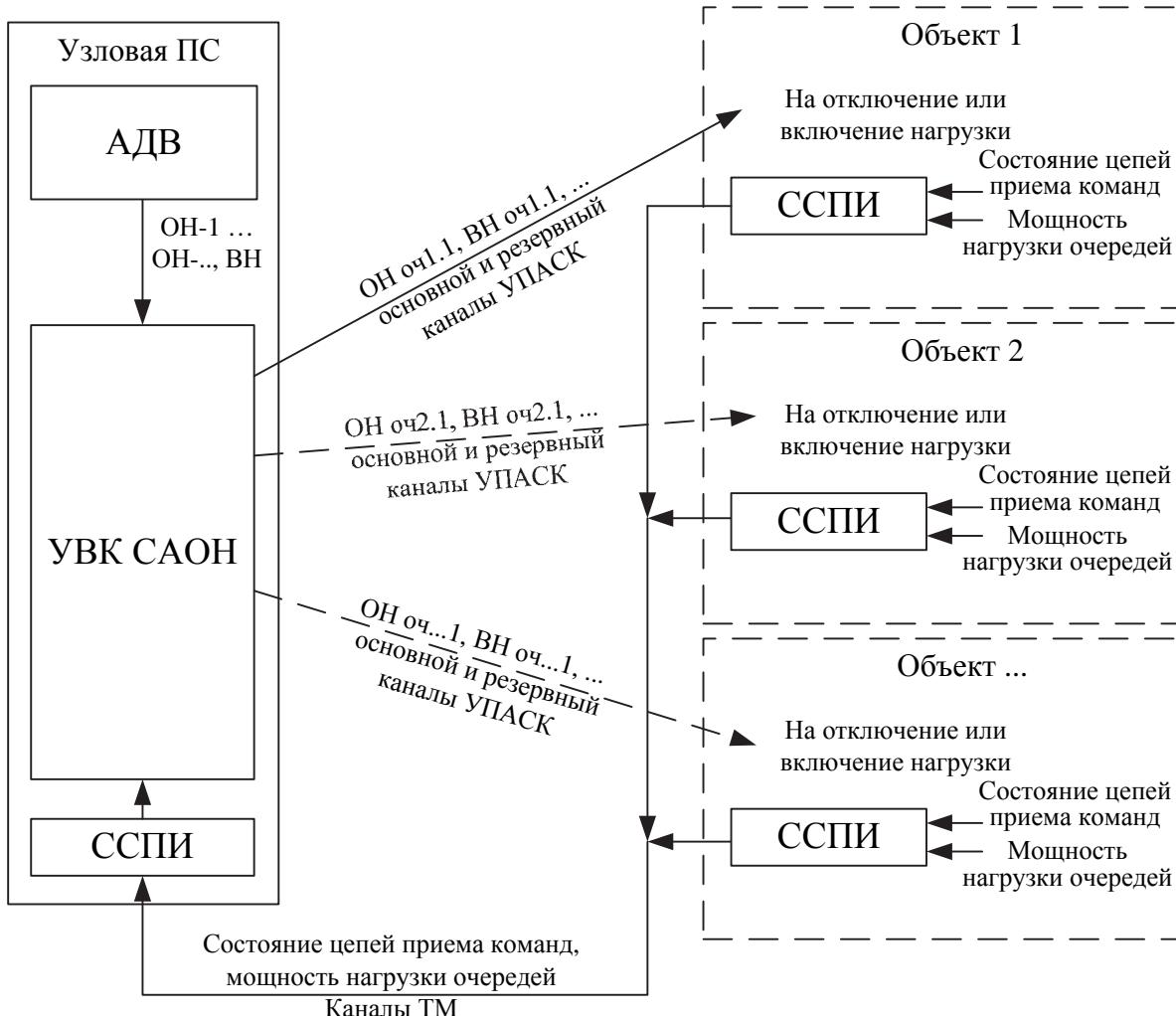


Рисунок 1 – Структурная схема АС САОН по варианту 1: АДВ-устройство автоматической дозировки управляющих воздействий; УВК САОН-управляющий вычислительный комплекс специальной автоматики отключения нагрузки; ССПИ-элементы системы сбора и передачи информации, устройства телемеханики

Первый из рассматриваемых вариантов (вариант 1, рисунок 1.) обеспечивает принцип прямого централизованного действия. Действие на коммутацию всех очередей САОН предусматривается из одного места (центра). Команды на отключение предварительно заданных объемов нагрузки ступенями ОН, а также команды ВН формируются пуско-дозирующим устройством ПА и передаются в управляющий вычислительный комплекс САОН (УВК САОН), являющимся верхним уровнем системы. Размещение УВК САОН целесообразно выполнять в месте, где технически проще организовать необходимые каналы от УВК САОН до объектов реализации отключения нагрузки. УВК САОН формирует индивидуальные команды на отключение и включение нагрузки конкретной очереди САОН на конкретном объекте. То есть на выходе УВК САОН формируется столько команд, сколько предусматривается мест (очередей) реализации отключения нагрузки и ее обратного включения. Данные команды должны передаваться от УВК САОН до объектов реализации данных команд по резервированным каналам ПА. Алгоритм подбора очередей САОН под ступени ОН и действие на ВН реализуется в УВК САОН. Для его функционирования с объектов реализации ОН предусматривается передача в УВК САОН информации о текущей мощности нагрузки очередей

САОН, а так же состояние оборудования и схемы приема команд (исправно/неисправно). Передача информации в УВК САОН предусматривается посредством специальных средств ССПИ. Для чего на каждом объекте САОН необходима установка устройств телемеханики и измерительных преобразователей (ИП) для измерения текущей мощности каждого присоединения заведенного под САОН, а также организация каналов телемеханики до УВК САОН.

При срабатывании пускодозирующего устройства ПА команда на отключение нагрузки необходимой ступени поступает на вход УВК САОН, который одновременно запускает необходимые команды на отключение очередей САОН на определенных в результате подбора объектах. При получении команды на включение нагрузки (ВН) УВК САОН одновременно запускает необходимые команды, обеспечивающие включение нагрузки определенных очередей САОН из ранее отключенных.

Такой вариант организации АС САОН реализуется в Норильской энергосистеме, где предусматривается установка УВК САОН на ПС 220 кВ Приемная.

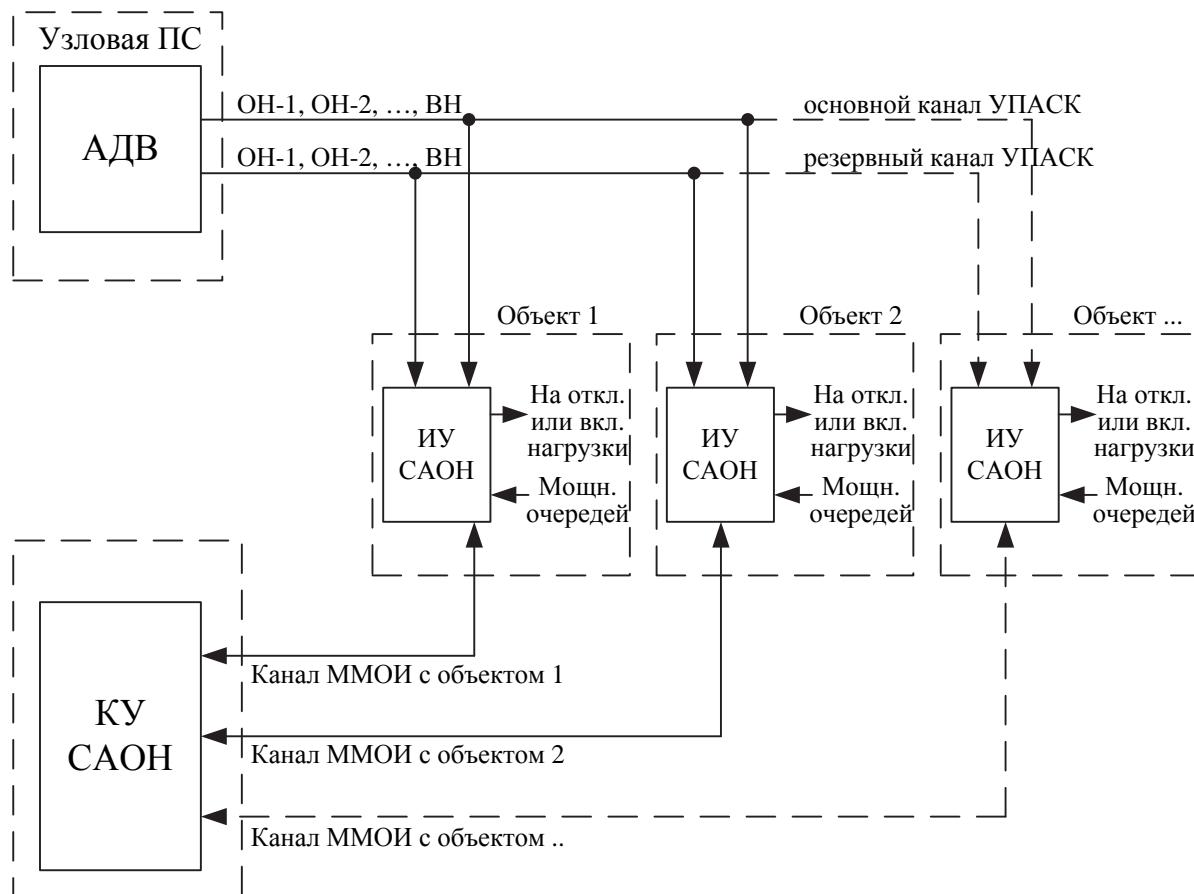


Рисунок 2 – Структурная схема АС САОН по варианту 2: АДВ-устройство автоматической дозировки управляющих воздействий; КУ САОН-координирующее устройство специальной автоматики отключения нагрузки; ИУ САОН-исполнительное устройство специальной автоматики отключения нагрузки; ММОИ-межмашинный обмен информацией

Второй вариант организации АС САОН (вариант 2, рисунок 2.) предполагает создание распределенной системы управления с централизованной координацией. По данному варианту организации САОН команды на отключение нагрузки ступенями ОН, а также команда ВН формируются пускодозирующим устройством ПА и передаются на все объекты САОН по резервированным каналам передачи аварийных сигналов и команд, аналогично принципам существующих схем САОН. На каждом объекте САОН команды ОН и ВН вводятся в исполнительное устройство САОН (ИУ САОН). В каждом ИУ САОН организуется ввод информации о текущей мощности нагрузки очередей САОН заведенных под отключение от данного ИУ САОН. Информация о мощности нагрузки, а также состояние устройства ИУ САОН (готовность к срабатыванию, текущая настройка и т.д.) передается на верхний уровень системы САОН в координирующее устройство САОН (КУ САОН), по специально организованным каналам межмашинного обмена информацией (ММОИ). В КУ САОН с учетом информации

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

полученной от всех ИУ САОН реализуется алгоритм подбора очередей САОН под ступени ОН и действие на ВН. Результат подбора передается в каждое ИУ САОН по каналам ММОИ. Таким образом, каждая очередь ИУ САОН автоматически настраивается на срабатывание от конкретной команды ОН и на срабатывание от команды ВН.

При потере связи между КУ САОН и одним или несколькими ИУ САОН (отказ канала ММОИ, неисправность КУ САОН, неисправность ИУ САОН):

- КУ САОН (при собственной исправности) не учитывает данные объекты в подборе;
- ИУ САОН (при собственной исправности) переходит в автономный режим работы с предварительно заданной настройкой.

До ввода в работу КУ САОН и всех необходимых каналов ММОИ на объекты могут быть установлены ИУ САОН работающие в автономном режиме и, таким образом, реализующие принципы существующей схемы САОН.

Координирующее устройство САОН не привязывается к конкретному электросетевому объекту, так как решает только расчетную алгоритмическую задачу на основе собранной информации с объектов энергосистемы. Размещение оборудования КУ САОН целесообразно выполнять в месте, где технически проще организовать каналы межмашинного обмена информацией (ММОИ) от КУ САОН до ИУ САОН на объектах.

В качестве каналов передачи команд ОН по данному варианту организации САОН может быть использованы любое специализированное канальное оборудование, реализующее передачу команд, как по ВЧ-каналам, так и по каналам ВОЛС.

Для данного варианта организации АС САОН также следует отметить относительную простоту расширения системы САОН. Для включения нового объекта в систему САОН необходимо только обеспечить резервированную передачу до данного объекта команд ОН от ближайших ПС, куда заходят каналы САОН, и организовать канал межмашинного обмена между ИУ САОН данного объекта и КУ САОН. Реконструкция действующих каналов САОН (добавление новых команд и т.п.) в данном случае не требуется.

Вариант 2 организации АС САОН реализуется в Алтайской и Новосибирской энергосистемах.

Программно-технические средства для реализации системы. В процессе работ по разработке адаптивных систем САОН на базе выпускаемого ЗАО «ИАЭС» оборудования КПА-М разработаны следующие устройства:

- управляемый вычислительный комплекс (УВК) САОН, который выполняет полный комплекс функций АС САОН;
- координирующее устройство (КУ) САОН, которое выполняет функции расчета и подбора очередей САОН под ступени САОН;
- исполнительное устройство (ИУ) САОН, которое выполняет прием команд ступеней САОН и реализацию отключения очередей по полученной от КУ САОН настройке.

Каждое устройство содержит необходимые технические компоненты и специализированное программное обеспечение, обеспечивающее выполнение технологического алгоритма.

Заключение. В настоящей статье представлено описание возможных вариантов построения адаптивной системы САОН, обеспечивающей «интеллектуальное» отключение нагрузки по командам ПА. В основу положено применение современных микропроцессорных устройств и технологий обмена и передачи информации. Варианты отличаются функциональностью необходимого оборудования на разных уровнях системной иерархии, требованиями к каналам передачи информации ПА и др. По своим целевым задачам и функционалу предлагаемые к реализации адаптивные системы (АС) САОН можно отнести к элементам технологии «Smart Grid».

Представленные адаптивные системы САОН в настоящее время внедряются в Новосибирской, Алтайской и Норильской энергосистемах.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября – 2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: противоаварийная автоматика, специальная автоматика отключения нагрузки

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Данилов Максим Владимирович, заведующий отделом ЗАО «ИАЭС»

Петров Алексей Эдуардович, заместитель генерального директора ЗАО «ИАЭС»

Чумаков Вадим Анатольевич, ведущий инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г. Новосибирск, ул. Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

СТРУКТУРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ ВЫБОРА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

А.С. Вторушин, С.Г. Аржанников, О.В. Захаркин

STRUCTURED APPROACH TO THE CONSTRUCTION OF A TECHNOLOGICAL CHAIN OF THE CONTROL ACTIONS SELECTION PROCESS IN CENTRALIZED EMERGENCY CONTROL SYSTEM

Institute of power system automation

A.S. Vtorushin, S.G. Arzhannikov, O.V. Zakharkin

This paper discusses some aspects of building complexes centralized emergency control system, in particular the specifics of building a production chain with a parallel architecture for constructing selection process control actions.

Keywords: centralized emergency control system, selection of control actions, power system state estimation

Рассмотрены отдельные аспекты построения комплексов централизованной системы противоаварийной автоматики, в частности специфика построения технологической цепочки при параллельной архитектуре построения процесса выбора управляющих воздействий. Показан опыт внедрения систем в ОЭС Сибири.

Настоящее время можно охарактеризовать как период интенсивного внедрения в энергосистемах комплексов централизованной системы противоаварийной автоматики нового поколения. Причиной этого является не столько совершенствование средств вычислительной техники, сколько совершенствование моделей энергосистем и методов выбора управляющих воздействий.

Современный комплекс централизованной противоаварийной автоматики (ЦСПА) является сложной программно-аппаратной системой, включающей следующие основные подсистемы:

- связи с низовыми устройствами (1);
- база данных и управление процессами (2);
- технологическая цепочка выбора управляющих воздействий (УВ).

Подсистемы (1) и (2) (назовем их системообразующим программным обеспечением) в рамках данной работы не рассматриваются, поскольку слабо связаны непосредственно с выбором управляющих воздействий.

Несколько лет назад казалось, что не может предъявляться каких либо специфических требований непосредственно к структуре технологической цепочки выбора управляющих воздействий (включает алгоритмы оценивание состояния и выбор управляющих воздействий 1-ДО). Но усложнение и совершенствование методов выбора управляющих воздействий показало, что данное утверждение нельзя считать верным. Рассмотрим типовую цепочку выбора управляющих воздействий (рисунок 1).

Возможны различные подходы к реализации данной цепочки:

- последовательное выполнение технологических алгоритмов;
- параллельная работа алгоритмов в рамках вычислительного кластера.

Каждый подход имеет свои достоинства и недостатки.

Последовательное выполнение технологических алгоритмов с одной стороны позволяет строго контролировать длительность полного цикла выбора управляющих воздействий, но при этом накладываются ограничение на число обрабатываемых аварийных возмущений, либо на вычислительную сложность алгоритма выбора управляющих воздействий. Применение данного подхода к организации технологической цепочки будет эффективным при использовании упрощенного алгоритма выбора УВ, который, в свою очередь, достаточно эффективен для применения в небольших энергосистемах.

Параллельная работа технологических алгоритмов ЦСПА может быть организована как в рамках одной вычислительной системы, так и на вычислительном кластере. Вопрос построения кластера или распараллеливания выбора УВ в рамках одной вычислительной системы больше относится к эффективности использования вычислительной мощности много-процессорной или многоядерной архитектуры ЭВМ. В то же время имеется ключевой момент построения архитектуры системы параллельного расчета УВ.

Рассмотрим два подхода к распараллеливанию технологических алгоритмов.

Синхронный выбор УВ для всех аварийных возмущений (пусковых органов) (рисунок 2).

Данный подход предусматривает расчет текущего режима работы энергосистемы блоком ОС с передачей результата группе параллельно работающих процессов выбора УВ. В явном виде данный подход реализован в ЦСПА ОЭС Востока [1]. Достоинством синхронного выбора УВ является как относительная простота реализации и контроля нормативной длительности цикла выбора УВ, так и выбор УВ для всех пусковых органов (ПО) по данным одного текущего установившегося режима (УР), полученного от блока оценивания состояния. Выбор УВ по данным одного УР позволяет избежать ситуации выбора различных объемов УВ для двух и более пусковых органов, вследствие коммутаций в сети, совпавших по составу аварийных возмущений.

Явным недостатком синхронного подхода к выбору УВ, является увеличение длительности цикла выбора управляющих воздействий. Известно, что длительность выбора УВ для заданного ПО зависит от тяжести текущего режима работы энергосистемы и, как следствие, числа требуемых управляющих воздействий. Запуск пакетного параллельного расчета УВ приводит к тому, что длительность цикла выбора УВ определяется самым тяжелым ПО, то есть фактически теряется возможность сокращения цикла выбора для отдельных аварийных возмущений.

В рамках модификации ПТК верхнего уровня ЦСПА ОЭС в Сибири ЗАО «ИАЭС» разработана асинхронная модель распараллеливания выбора УВ. Основной целью применения асинхронной модели расчетов является сокращение длительности цикла выбора УВ для отдельных пусковых органов.

В асинхронной модели распараллеливания выбора УВ алгоритм оценивания состояния непрерывно получает актуальные оценки режима работы энергосистемы. Полученный УР с меткой времени передается в качестве задания на выбор УВ свободным расчетным узлам. Один узел обеспечивает выбор УВ для одного пускового органа. По окончании выбора управляющих воздействий для ПО осуществляется передача результатов на низовые устройства. Для обеспечения нормативного времени цикла выбора УВ на всех этапах осуществляется контроль длительности цикла для обрабатываемого ПО. При данном подходе обновление дозировки отдельного пускового органа осуществляется за минимально возможное время, что позволяет обеспечивать максимальное соответствие объемов УВ текущему режиму работы энергосистемы.

Наличие новых результатов ОС в моменты времени, когда для части ПО выполняется выбор УВ по предыдущему режиму, позволяет перезапускать задачи для расчетных узлов в случаях, когда идентифицировано резкое изменение оцененного режима относительно предыдущего (например, коммутация в сети, набор/сброс мощности нагрузки или генерации).

В то же время, кажущаяся простота асинхронной модели требует особой тщательности при ее реализации. Решение задачи в «лоб» может привести к построению работающей, но сложно управляемой или неподходящей для масштабирования и развития системы.

Эффективным способом решения сложных задач является использование структурированного подхода. В общем случае структурированный подход заключается в построении дерева решения основной задачи, полученного декомпозицией задачи на локальные подзада-

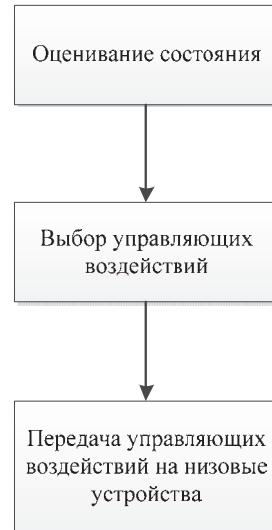


Рисунок 1 – Технологическая цепочка выбора управляющих воздействий

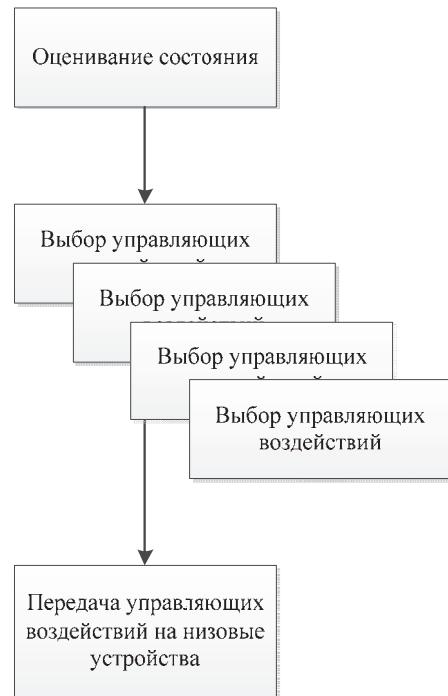


Рисунок 2 – Синхронный выбор УВ

чи. Таким образом, сложная задача или процесс разбиваются на ряд элементарных, что позволяет получить качественное и эффективное решение задачи в целом. Соответственно структурированный подход был применен для разработки и реализации технологической цепочки выбора УВ в ходе работ по созданию ЦСПА ОЭС Сибири. Эффективность принятых решений доказывается тем фактом, что осуществляемый в настоящее время перевод комплекса на модель параллельного выбора УВ не требует значительных изменений в технологических алгоритмах ЦСПА.

На рисунке 4 представлена структура технологической цепочки выбора УВ для асинхронного метода распараллеливания.

Фактически имеется два уровня параллелизма. Первый – параллельная работа блока оценивания состояния и блока выбора УВ. Такой подход позволяет оперативно отслеживать изменение схемно-режимных условий. И по факту резкого изменения режима сети перезапускать расчет УВ, тем самым ускоряя выдачу актуальных, для текущего режима работы энергосистемы, воздействий.

Второй уровень – уровень выбора управляющих воздействий. На нем выполняется асинхронный выбор УВ для пусковых органов. При этом возможно выделение синхронных групп ПО. Необходимость выделения синхронных групп ПО может диктоваться рядом причин:

- устранение ситуаций выбора различных объемов УВ для двух и более пусковых органов, вследствие коммутаций в сети, совпавших по составу аварийных возмущений. Такие пусковые органы требуют выбора УВ по данным о режиме сети имеющим одну метку времени;

- ограничение на пропускную способность каналов связи. В настоящее время передача выбранных УВ осуществляется пакетом, включающим все УВ для каждого района управления. При сохранении такого подхода, нагрузка на канал может возрасти пропорционально количеству синхронных групп выбора УВ;

- балансировка загрузки вычислительной системы при ограниченном количестве процессорного времени. Группировка "легких" и "тяжелых" ПО позволяет выделить слот процессорного времени для расчета более тяжелой аварии.

Следует отметить, что причины вышеперечисленные причины (первые две) проистекают не из недостаточной проработки структуры технологической цепочки, а из текущего уровня применяемых технических средств на объекте внедрения.

Переход комплексов ЦСПА на параллельный выбор УВ является эволюционным процессом, продиктованным как повышением детализации моделей энергосистем, так и развитием непосредственно алгоритмов выбора управляющих воздействий (с ростом их требований к вычислительным ресурсам). В связи с этим детальная проработка структуры технологической цепочки позволяет не только получить эффективную систему в настоящем, но и заложить фундамент дальнейшего развития. Технические решения, принятые ЗАО «ИАЭС», при разработке структуры технологической цепочки ЦСПА ОЭС Сибири, позволяют осуществить переход к параллельному выбору УВ путем миграции, а не глубокой переработки системы в целом. Это, в свою очередь, обеспечивает повышение надежности, модернизированной с целью параллельного расчета УВ (за счет минимальной модернизации блоков основных алгоритмов).

Хотелось бы отметить, что при реализации асинхронного подхода к выбору УВ факто-

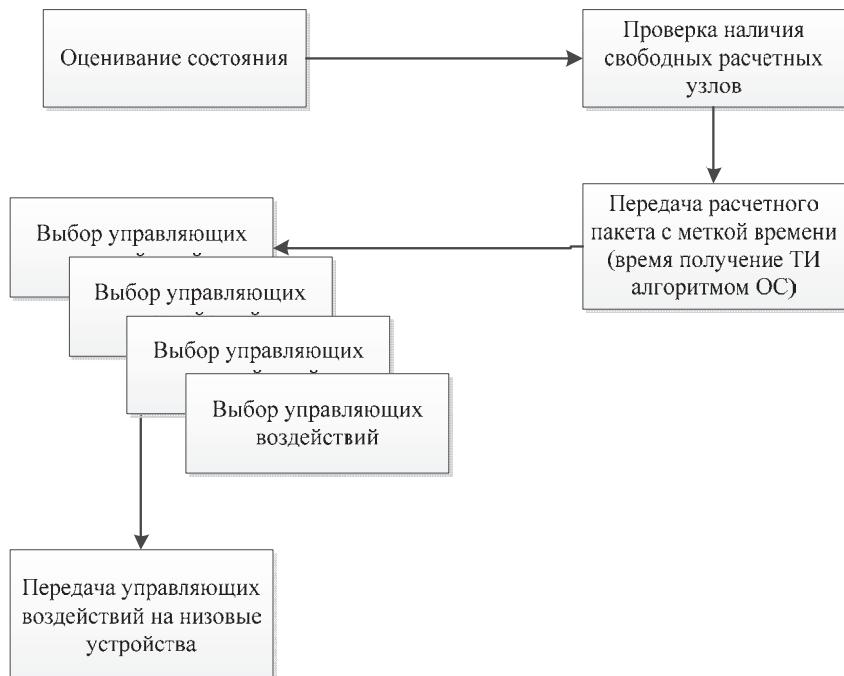


Рисунок 3 – Асинхронный выбор УВ

ром требующим создания синхронных групп и, соответственно, увеличивающим длительность цикла выбора управления, является не столько затраты процессорного времени на расчет одного пускового органа, сколько технические ограничения накладываемые располагаемыми ресурсами процессорного времени и пропускной способностью каналов связи до низовых устройств. В свете этого, перспективным является не только наращивание числа процессорных ядер в вычислительном кластере, но и более эффективное использование каналов связи за счет разработки протоколов передачи УВ на низовые устройства пакетами, включающими не все ПО района управления, а отдельные синхронные группы. Несмотря на то, что данные разработки потребуют модификации как ПТК верхнего уровня ЦСПА, так и низовых устройств, результатом, обеспечивающим надежность работы энергосистемы в целом, будет значительное уменьшение длительности цикла выбора УВ.

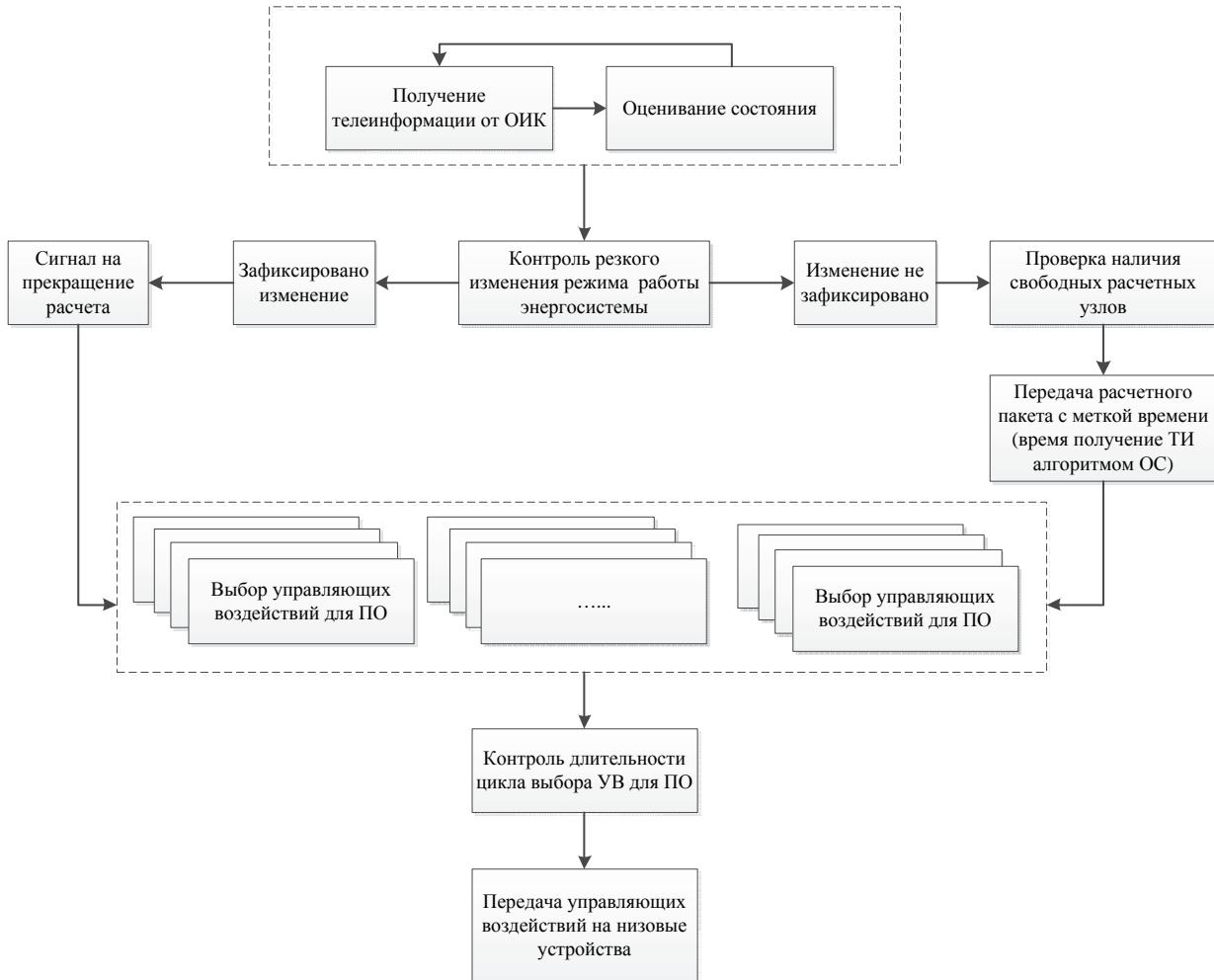


Рисунок 4 – Структура технологической цепочки выбора УВ

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Гайдамакин, Ф.Н. Аппаратные и программные средства ЦСПА ОЭС Востока / Ф.Н. Гайдамакин, С.И. Демидов // Изв. НТЦ единой энергет. системы. -2013. -№1(68). -С. 69-78.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: централизованная система противоаварийной автоматики, подбор управляющих воздействий, оценивание состояния энергетической системы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Вторушин Алексей Сергеевич, канд. техн. наук, заведующий лабораторией ЗАО «ИАЭС»
Аржаников Сергей Гаврилович, старший научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Захаркин Олег Владимирович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»
630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

АВТОМАТИКА ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»
ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный технический
университет»

В.Е. Глазырин, А.В. Никитин

AUTOMATIC SURGE PROTECTION DEVICE. IMPROVING TECHNICAL SOLUTIONS, STRUCTURES AND ALGORITHMS
Institute of power system automation
Novosibirsk state technical university
V.E. Glazyrin, A.V. Nikitin

The paper is devoted the problem of the use of digital opportunities to improve and expand the functions of emergency control devices. Currently used algorithms of automatic surge protection devices are performed using two stages, with each stage having a fixed delay time. This is consistent with the use of standard electromechanical automatic surge protection devices with their hardware limitations. Provided the use of a linear characteristic of automatic surge protection devices that allows to use the life time of sealing off than stage characteristic.

Keywords: emergency control, automatic surge protection device, voltage-time characteristic, residual resource time

Рассматривается актуальная задача использования возможностей цифровых технологий для совершенствования и расширения функций устройств противоаварийной автоматики. Используемые в настоящее время алгоритмы автоматики ограничения напряжения (АОПН) выполняются с использованием двух ступеней, причем каждая ступень имеет фиксированную выдержку времени. Это соответствует применению типовых электромеханических устройств АОПН с их аппаратными ограничениями. Предлагается применение линейной характеристики срабатывания АОПН, которая позволяет больше использовать ресурс изоляции, чем ступенчатая характеристика.

Многоуровневая система противоаварийной автоматики является важнейшим средством поддержания надежности и живучести ЕЭС России. Эта система локализует и предотвращает развитие аварий. Надежное функционирование ЕЭС России требует постоянной модернизации электрических сетей, систем технологического управления, в том числе внедрения современных систем релейной защиты и противоаварийной автоматики (РЗА и ПА). На сегодняшний день большинство систем РЗА и ПА в ЕЭС России, выполнено на электромеханической и полупроводниковой элементной базе. Активно идет процесс ввода новых и модернизация действующих систем РЗА и ПА на базе цифровых устройств с использованием микропроцессорной техники.

Использование микропроцессорной техники позволяет использовать весь потенциал быстродействия, реализации различных сложных алгоритмов и точных расчетов для решения задач поддержания устойчивости энергосистем в конкретных сложившихся ситуациях.

В силу многих обстоятельств, и не в последнюю очередь из-за ограничений транспортных габаритов, изоляция линий и оборудования 500 кВ разрабатывалась в 1950-х гг. прошлого столетия с неполным учетом внутренних (коммутационных) перенапряжений, возможных в линиях электропередачи этих напряжений. Это потребовало разработки и применения многих мероприятий, ограничивающих перенапряжения. Имеются в виду различные разрядники и искровые промежутки, которые ограничивают переходные внутренние перенапряжения. Что касается установившихся внутренних перенапряжений, возможных длительно, то в этом отношении важны специальные меры – подключение шунтирующего реактора через последовательно включенный искровой промежуток, который затем автоматически шунтируется выключателем. Среди высоковольтного оборудования наиболее чувствительны к повышенному напряжению силовые трансформаторы и автотрансформаторы, они же и наиболее дороги.

Недостаточность мер по ограничению установившихся внутренних перенапряжений приводит к необходимости применять автоматику ограничения повышения напряжения (АОПН) для отключения источника перенапряжения. АОПН используется и для того, чтобы при опасно повышенном напряжении включить шунтирующий реактор или зашунтировать искровой промежуток, если он уже пробился.

Разработка требований к устройству АОПН. Защита от недопустимого повышения напряжения касается элементов, присоединенных к шинам высокого напряжения объекта, и

основывается на трех принципах [2]:

- тот элемент, на котором выявлено недопустимое повышение напряжения в течение недопустимо большого времени, подлежит отключению;
- требуется отключить не все такие элементы, а именно тот из них, который является лишним источником реактивной мощности или за которым находится такой источник;
- принимается, что таким элементом может явиться линия электропередачи.

В связи с изложенными принципами необходимо выдвинуть ряд требований для устройств АОПН:

- для предотвращения неправильной работы устройства в неполнофазных режимах, необходимо контролировать факт повышения напряжения в каждой из трех фаз;
- установка устройств АОПН должна производиться с двух сторон линии и при необходимости, для обеспечения их взаимодействия, снабжаться каналами связи для обмена сигналами-командами через УПАСК;
- необходимо обеспечить фиксацию опасного повышения действующего значения напряжения в соответствии с заложенной вольт-секундной характеристикой и амплитудного значения напряжения;
- действие устройств АОПН должно быть направлено на ликвидацию или компенсацию аварийного избытка реактивной мощности включением компенсирующих устройств, отключением источников реактивной мощности, включая линию электропередачи, на которой оно установлено;
- необходимо предусмотреть блокировку срабатывания устройства АОПН при включении линии в работу;
- действие устройства на включение любого, подключенного к линии шунтирующего реактора, необходимо блокировать после срабатывания его защит;
- обеспечение селективности устройства АОПН реализуется использованием контроля активной и реактивной мощностей, протекающих по линии, а также состояния ее выключателей;
- устройство АОПН должно оценивать целесообразность управляющего воздействия, направленного на включение шунтирующего реактора, в зависимости от оставшегося времени до отключения линии.

Принципы выполнения пуска АОПН. Пуск АОПН должен осуществляться при повышении напряжения выше допустимого с учетом его амплитудного значения, образованного наложением на синусоиду 50 Гц составляющих других частот. Учитывая, что опасным для оборудования являются как превышение допустимой амплитуды напряжения – для электрической изоляции, так и повышение допустимого действующего значения напряжения – по условию нагрева магнитопроводов трансформаторов, в устройстве АОПН организуется два канала вычисления напряжения (рисунок 1).

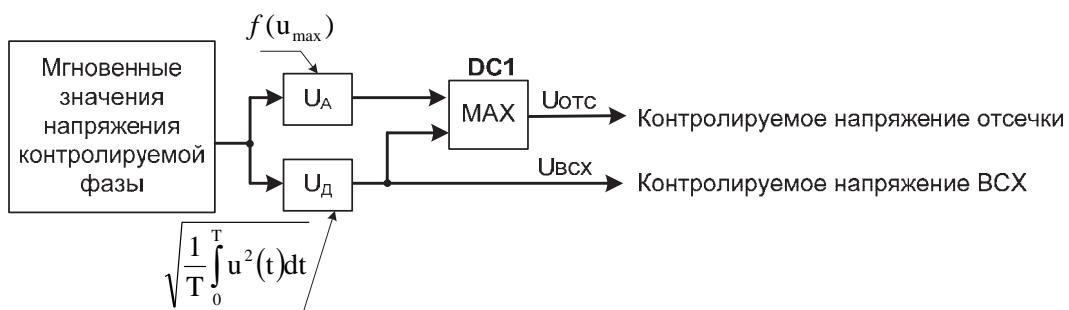


Рисунок 1 – Алгоритм вычисления контролируемых напряжений

– канал вычисления действующего (среднеквадратичного) значения напряжения

$$U_D = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt};$$

– канал вычисления амплитудного значения напряжения с приведением его к квазидействующему значению

$$U_A = f(u_{\max}).$$

Приведение амплитудного значения напряжения к квазидействующему позволяет вы-

полнять общий пусковой орган для обоих каналов с пусковыми параметрами (уставками) в размерности действующих значений.

Применение ВСХ в АОПН. Ступенчатая характеристика срабатывания очень легко воспринимается и позволяет легко согласовать действие нескольких однотипных устройств. В то же время, она не позволяет оценить и учесть динамику процесса, когда измеряемая величина изменяется во времени не ступенчато и не единственный раз, а более сложно.

Так, если имеется одна ступень действия и заданы параметры ее срабатывания U_{cp} и t_{cp} , то сколько бы времени ни держалось напряжение, чуть более низкое, чем U_{cp} , все равно отсчет времени может начаться только после превышения U над U_{cp} , то есть выполнения неравенства $U \geq U_{cp}$, и это превышение вне зависимости от своей величины должно продолжаться не менее времени $t \geq t_{cp}$. Более подробно устройство и принцип работы двухступенчатой АОПН на электромеханической базе описано в [3]. Смягчают эти недостатки увеличением числа ступеней, либо имитированием каждой точки ВСХ свойств ступенчатой характеристики. Это позволяет в некоторой степени увеличить точность задания способности выдерживать перенапряжения.

Использование многоступенчатого подхода при построении алгоритма АОПН приводит к усложнению выбора уставок. Динамика протекания процесса не учитывается, поскольку при колебании измеряемой величины изменяется лишь число сработавших ступеней, имеющих фиксированные выдержки времени. Таким образом, алгоритм не производит анализ аварийного режима, а представляет собой лишь «гонку» выдержек времени отдельных ступеней.

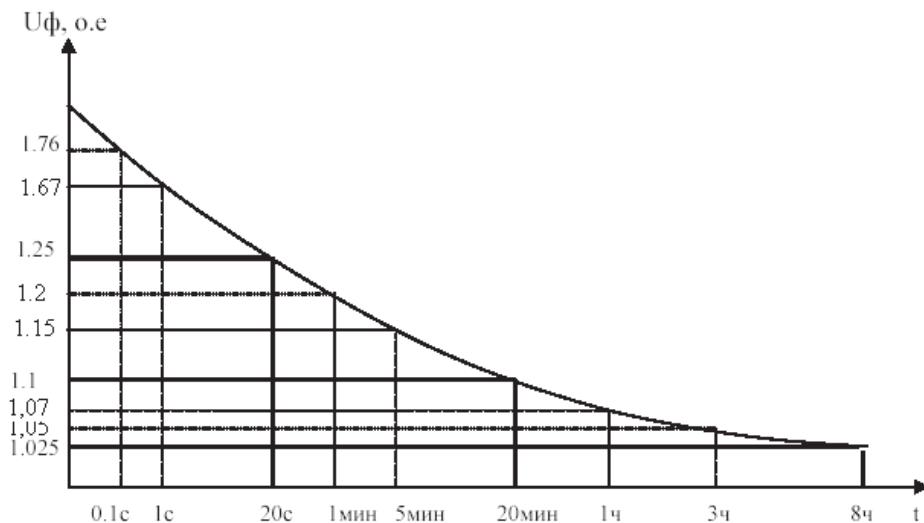


Рисунок 2 – Пример ВСХ электрооборудования по ГОСТ 1516.3-96

Для облегчения выбора уставок и согласования устройств, предлагается выбрать линейную характеристику срабатывания. Это позволит пользователю ограничиться теми же уставками, что и для двухступенчатого устройства АОПН, отображаемые в виде точек (U_1, T_1) для первой («грубой») ступени и (U_2, T_2) для второй («чувствительной») ступени, при этом ВСХ АОПН – прямая, соединяющая эти две точки в координатах (U, T) . Применять более сложную характеристику срабатывания представляется затруднительным, так как в интересующем нас интервале времени работы (0,1-60 с) известно всего 4 точки ВСХ электрооборудования [1], а характер кривой неизвестен. Кроме этого, совсем необязательно, чтобы выбор уставок на объекте производился по согласованию с ВСХ [1], изображенной на рисунок 2.

В качестве примера приведем существующие уставки для двухступенчатого АОПН на Саяно-Шушенской ГЭС (рисунок 3). Очевидно, что характеристика срабатывания АОПН выходит за пределы ВСХ электрооборудования по ГОСТ 1516.3-96, что при определенном аварийном режиме будет приводить к увеличению износа оборудования. На графике изображены две линейные ВСХ АОПН. Одна с такими же уставками, что и на Саяно-Шушенской ГЭС, а вторая взята произвольно, чтобы наглядно продемонстрировать более эффективное

использование ресурса изоляции при данном способе задания характеристики срабатывания. При этом эта характеристика срабатывания не выходит за пределы ВСХ электрооборудования. Также на рисунке 3 изображена трехступенчатая ВСХ, которая не выходит за пределы ВСХ.

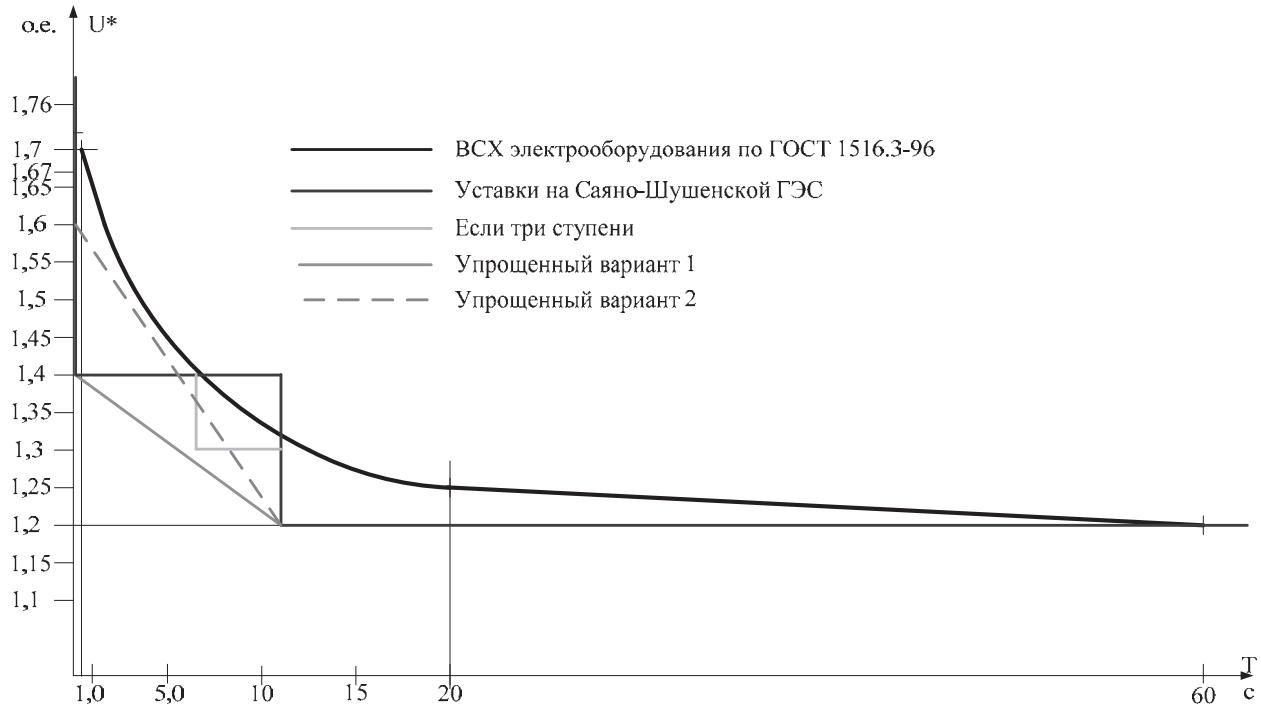


Рисунок 3 – Уставки АОПН Саяно-Шушенской ГЭС, совмещенные с ВСХ оборудования

Алгоритм АОПН основан на вычислении остаточного ресурса (времени) до отключения линии и позволяет максимально использовать ресурс изоляции, а также исключить излишние управляющие воздействия по устраниению ненормального режима. Также предусмотрена возможность отключения линии с минимальной фиксированной (приблизительно 0,3 с) выдержкой времени при большой кратности перенапряжений на контролируемой линии. Если в ходе процесса величина текущего напряжения изменяется, но остаётся выше уставки срабатывания второй ступени, расчет продолжается для нового значения напряжения с учетом использованного ресурса при предыдущих значениях напряжения. Предыдущие повышения напряжения учитываются путём расчёта величины относительного остаточного ресурса по времени.

Вычисление остаточного ресурса производится на каждом шаге дискретизации. По действующему значению напряжения определяется допустимое время перенапряжения для оборудования. Производится вы-

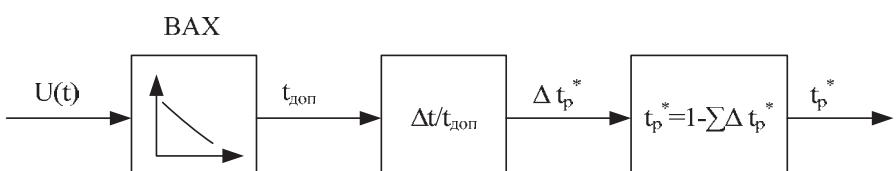


Рисунок 4 – Алгоритм расчета остаточного ресурса

числение относительного ресурса израсходованного на данном интервале дискретизации путем деления допустимого времени перенапряжения на период дискретизации. Конечным этапом является вычисление относительного остаточного ресурса оборудования. Алгоритм расчета остаточного ресурса проиллюстрирован на рисунке 4.

Предусматривается три технологических режима работы АОПН:

- режим «без условий»;
- режим при отключении линии в месте установки АОПН. Включается сигналами об отключении фаз линии;
- режим при отключении линии с противоположного конца. Включается сигналами параметрических избирательных органов, контролирующих реактивную и активную мощность по линии;

– дополнительные технологические функции: формирование сигналов включения шунтирующих реакторов с фиксированной выдержкой времени при превышении напряжением значения U_2 ; блокировка операций с шунтирующим реактором при действии его защит; автоматическая блокировка АОПН при включении линии; анализ целесообразности управляющего воздействия автоматики, направленного на включение шунтирующего реактора, в зависимости от оставшегося времени до отключения линии. Задается уставка по времени. При значении остаточного ресурса не больше данной уставки происходит блокировка сигналов включения шунтирующих реакторов. Эта технологическая функция позволяет избежать неоправданных коммутаций выключателем реактора.

Заключение. Представленные технические решения расширяют функциональные возможности АОПН:

- использование нескольких каналов измерения напряжения позволяет предотвратить недопустимый перегрев магнитопроводов трансформаторов и защитить изоляцию;
- предлагаемая характеристика срабатывания позволяет добиться максимально возможного использования способности оборудования противостоять перенапряжениям;
- оценка целесообразности управляющего воздействия позволяет исключить излишние операции с коммутирующими аппаратами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 ГОСТ 1516.3-96. Электрооборудование переменного тока на напряжение от 1 до 750 кВ.
- 2 Глускин, И.З. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. Т. 2 / И.З. Глускин, Б.И. Иофьев. -М.: Знак, 2011. -528 с.
- 3 Беркович, М.А. Автоматика энергосистем / М.А. Беркович, В.А. Гладышев, В.А. Семенов. -М., 1991.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: противоаварийная автоматика, автоматика ограничения повышения напряжения, вольт-секундная характеристика, остаточный ресурс по времени

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Глазырин Владимир Евлампиевич, канд. техн. наук, доцент ФГБОУ ВПО «НГТУ»

Никитин Андрей Владимирович, инженер-конструктор ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630092, г.Новосибирск, пр.К.Маркса, 20, ФГБОУ ВПО «НГТУ»

630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОАВАРИЙНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИКИ ДОЗИРОВКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Н.Н. Лизалек, В.В. Жидков, Е.Г. Смолина

PROCURING A NORMAL DATA TO THE MANAGING COMPUTER SYSTEM OF LEVERAGE MEASURING AUTOMATICS

Institute of power system automation

N.N. Lizalek, V.V. Zhidkov, E.G. Smolina

Data collection and Transmission System (DCTS) is the vital part of the Emergency Control System (ECS). This article studies applying of DCTS in the ECS regions of Siberian Integrated Energy System.

Keywords: data collection and transmission systems, main data collection and transmission complex, managing computer system of leverage measuring automatics

Система сбора и передачи доаварийной информации (ССПИ) является важнейшим элементом в структуре функционирования системы противоаварийного управления (ПАУ). В статье рассматривается применение данной системы в районах ПАУ ОЭС Сибири.

В условиях непрерывного развития электрических сетей, ввода новых мощных источников электроэнергии возрастает и сложность организации систем противоаварийного управления (ПАУ). Основным ядром данной системы являются устройства, предназначенные для расчета и выбора ступеней управляющих воздействий (УВ) [1]. Как правило, в ОЭС России выбор дозировки УВ осуществляется по принципам 1-ДО и 2-ДО.

Выбор УВ по принципу 1-ДО предполагает, что устройство АДВ само, по специальным технологическим алгоритмам, выполняет расчет доаварийных и после аварийных режимов для каждого опасного по условиям устойчивости аварийного возмущения и осуществляет выбор УВ.

Выбор УВ по принципу 2-ДО предусматривает, что все расчеты устойчивости выполняются на отдельных вычислительных средствах и по результатам их расчетов готовится для АДВ настройка типа «решетка», в которой каждому пусковому органу (аварийному возмущению) ставятся в соответствие ступени УВ в зависимости от доаварийного состояния сети и величины мощности доаварийного режима по контролируемому сечению.

Выбор УВ по принципу 1-ДО, как правило, осуществляется устройствами АДВ верхнего уровня централизованной системы ПА (ЦСПА). Необходимая для этой цели доаварийная информация о текущем состоянии сети и режиме загрузки контролируемых элементов электрической сети берется из системы ОИК.

Выбор УВ по принципу 2-ДО осуществляется устройствами АДВ на нижнем уровне ЦСПА, так называемом ЛАПНУ (локальной автоматики предотвращения нарушения устойчивости) [4].

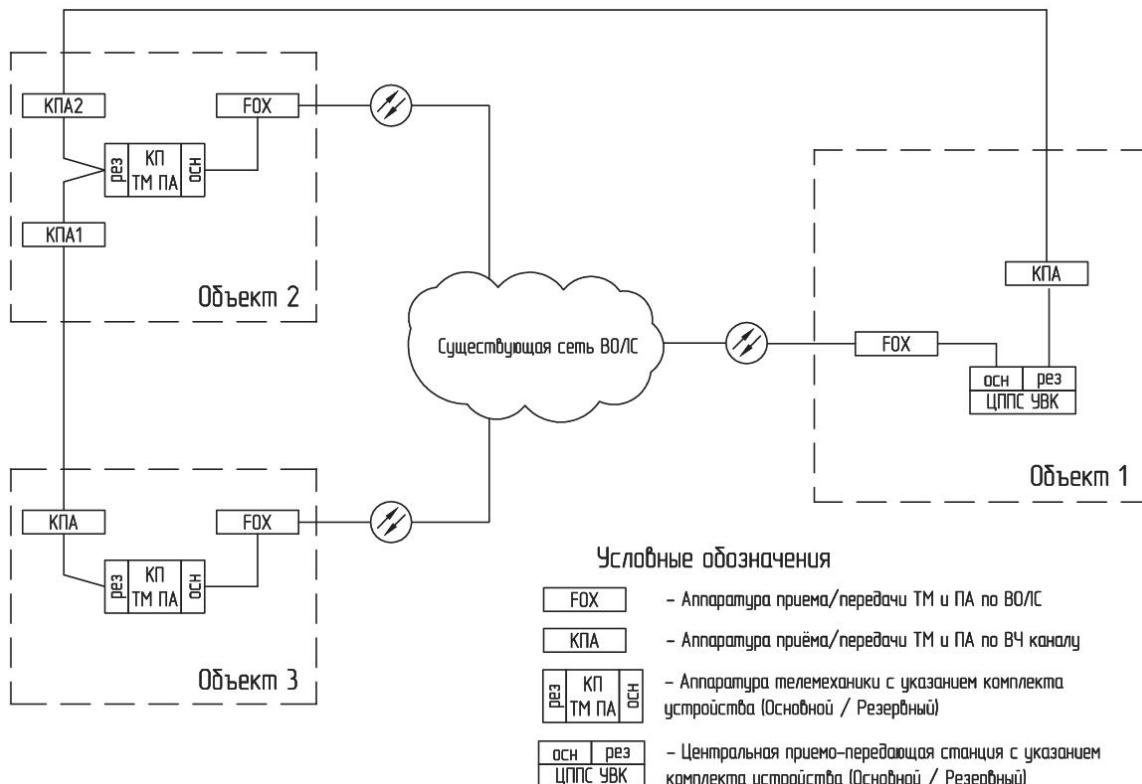


Рисунок 1 – Схема передачи данных телемеханики по каналам ВОЛС и ВЧ

Назначение ССПИ. Собственно, система сбора и передачи доаварийной информации (ССПИ) и предназначена для обеспечения комплексов УВК АДВ на нижнем уровне ЦСПА необходимой по объему и качеству доаварийной информацией с целью повышения эффективности его функционирования.

Соответственно, для полноценной реализации алгоритмов УВК АДВ необходимы своевременные и достоверные данные доаварийной информации контролируемых объектов района управления.

За сбор, передачу и обработку доаварийной информации, необходимой для оперативного централизованного контроля технологического процесса, отвечают системы телемеханики. Для передачи данных от контролируемого объекта к УВК АДВ применяются резервированные каналы, организованные, как правило, с использованием аппаратуры связи по ВОЛС и ВЧ-трактам. Такая структура обеспечивает передачу информации в различных средах по географически разнесённым трассам.

Основными требованиями к системе сбора и передачи телемеханической информации являются:

- организация высокой надежности передачи измеряемых величин;
- поддержка различных протоколов передачи данных;
- диагностика наличия связи по каналам;
- сигнализация о неисправности устройств телемеханики.

Основным элементом в иерархии системы сбора информации является центральная приемо-передающая станция (ЦППС), отвечающая за получение доаварийной информации от контроллеров телемеханики КП, их обработку и последующую передачу к управляющему комплексу. Каждое из устройств ЦППС получает данные по основному и резервному каналу от всех контролируемых пунктов (рисунок 1). Передача доаварийной информации, как правило, осуществляется по каналам ВОЛС с использованием топологии «точка-точка» и ВЧ-каналам по топологии «шина».

Данные от модулей ввода дискретных сигналов, измерительных преобразователей и контроллеров ТМ, расположенных на контролируемых объектах, поступают по дублирующим друг друга каналам связи в устройства сбора информации для УВК АДВ (ЦППС 1 и ЦППС 2) (рисунок 2). Передача осуществляется с использованием интерфейсов RS-485\232 по протоколу МЭК 870-5-101. Следует также отметить, что одним из важнейших условий построения ССПИ для противоаварийной автоматики, является обязательное резервирование всех элементов сооружаемой сети, исключающее выход из строя основного и резервного устройства по общей причине. В связи с этим, рассматриваемая ССПИ, реализуется посредством двух дублирующих друг друга полукомплектов.

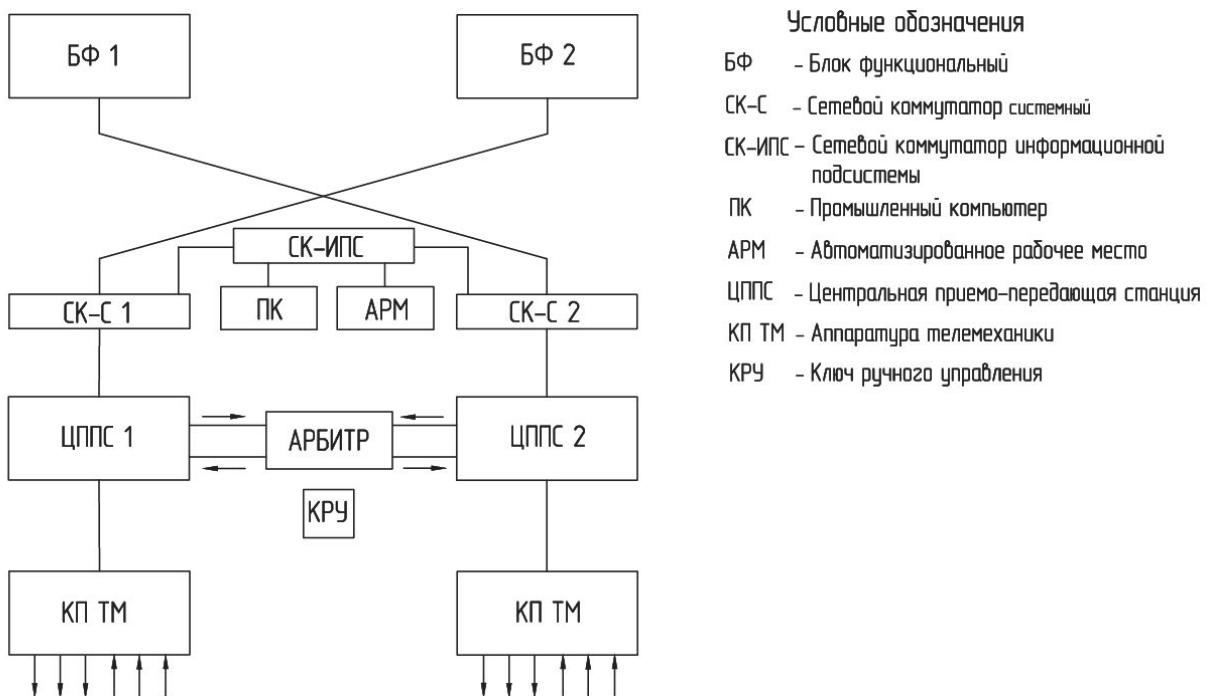


Рисунок 2 – Структурная схема комплекса УВК АДВ

В условиях параллельной работы двух станций распределение функций по назначению устройства (основным либо резервным), выполняет арбитр. В штатном режиме оба контроллера генерируют и направляют на входы детекторов арбитра сигнал определенной частоты. После чего арбитром выдаётся сигнал о назначении контроллеру того или иного приоритета.

Прием меандр арбитром классифицируется как признак исправности контроллера. При частичном или полном пропадании меандра одного из контроллеров, арбитр переключается в положение, при котором канал связи ЦППС будет коммутирован к другому рабочему устройству по управляющему сигналу. Переключение осуществляется как в автоматическом, так и в ручном режиме с помощью переключателя. При запуске системы с арбитром, установленном в автоматический режим работы, основным становится контроллер, запуск которого произойдет первым, второй при этом будет резервным.

ЦППС является центральной точкой иерархической структуры ССПИ, куда сходятся потоки данных со всех контролируемых объектов района управления. Далее информация передается в функциональные блоки противоаварийной автоматики (БФ) для последующей обработки. Передача данных организуется таким образом, чтобы каждый из функциональных блоков мог получать информацию от любой из центральных приемо-передающих станций.

Принципы передачи доаварийной информации. Рассмотрим более подробно принципы передачи телесигналов и телемеханических измерений.

В рамках реализации ССПИ на контролируемых объектах в качестве низовых устройств могут применяться как аналоговые, так и цифровые измерительные преобразователи (ИП). Настоящими преобразователями осуществляется сбор, первичная обработка требуемых значений по технологическому оборудованию и последующая передача контроллерам телемеханики измеренных значений.

Источником телесигналов могут быть простые двухпозиционные переключатели, состояние которых меняется при изменении состояния объекта (включен/выключен, работа/ремонт) [2, 3]. Передача ТС от коммутационного аппарата к устройствам дискретного ввода/вывода осуществляется «сухими контактами» и оцифровывается аппаратурой телемеханики контролируемого пункта.

Потоки данных обо всех измерениях и состояниях от контролируемых пунктов передаются к ЦППС, которая в свою очередь осуществляет последующую их передачу к УВК АДВ для дальнейшей диагностики.

С целью повышения визуализации и оперативного реагирования эксплуатирующему персоналу центров района управления в ЦППС, предусмотрен вывод аварийной сигнализации о следующих видах неисправности:

- неприем данных по одному из каналов (возможный отказ канала);
- неприем данных по всем каналам (возможный отказ оборудования КП);
- неисправность контроллера;
- неисправность источника питания.

В целом, рассматриваемая система сбора, предназначенная для обеспечения доаварийной информацией комплекса УВК АДВ, выполняет все основные требования по обеспечению требуемыми данными благодаря следующим факторам:

– Надёжность. Все элементы сооружаемой сети дублированы. При потере связи с одним полукомплектом, УВК АДВ продолжит получать своевременные и достоверные данные доаварийной информации контролируемых объектов со второго полукомплекта. Организация измерений так же предполагает возможность резервирования полученных данных, путем установки дублированных измерительных преобразователей основного и резервного.

– Модульность. При выходе какого-либо элемента системы из строя, нет необходимости в замене большого количества оборудования и остановки работы всей системы, достаточно заменить нерабочий модуль или плату-носитель.

– Возможность распределенного размещения модулей ССПИ. Данная особенность позволяет размещать некоторые устройства (измерительные преобразователи, модули ввода дискретных сигналов) максимально близко к технологическому оборудованию, ввод/вывод информации по которому они осуществляют и сводить все полученные данные в одно устройство, которым является центральная приемо-передающая станция. Такое решение позволяет повысить надежность системы.

– Самодиагностика. Рассматриваемая система способна самостоятельно выявлять неисправность входящих в нее элементов и выдавать аварийную сигнализацию для информирования оперативного персонала на объекте управления.

– Возможность создания конфигурации ЦППС без прямого подключения к устройству. Управление контроллером телемеханики осуществляется при помощи прикладной программы (конфигуратора), которая позволяет задать каналы связи, выставить их параметры, завести необходимые для контроля и управления ТС и ТИ. Данная особенность подразумевает возможность удаленного создания конфигурации, с последующей ее загрузкой на контроллеры ЦППС на объекте управления.

Рассмотрев возможности предлагаемой системы сбора и передачи информации, можно сделать вывод, что данная система обеспечивает УВК АДВ своевременными и достоверными данными доаварийной информации контролируемых объектов, с целью повышения надежности энергосистемы и увеличения пределов передаваемой мощности по сечению.

Заключение. В настоящее время в ОЭС Сибири системы сбора и передачи надежно обеспечивают доаварийной информацией УВК АДВ, установленных и успешно функционирующих на следующих объектах энергетики: ПС 1150 кВ Итатская; ПС 1150 кВ Алтай; ПС 500 кВ Таврическая; Усть-Хантайская ГЭС; Курейская ГЭС; Богучанская ГЭС; Харанорская ГРЭ; в ОЭС Казахстана – на ПС 1150 кВ; Экибастузская и Южно-Казахстанской ГРЭС.

В ближайшей перспективе (ведутся проектные, строительно-монтажные и наладочные

работы) будут созданы районы ПАУ с центрами размещения УВК АДВ на ПС 500 кВ Восход, ПС 500 кВ Заря, ПС 500 кВ Барнаульская, Бийская РПП, на Красноярской ГЭС, в каждом из которых обязательно будет своя ССПИ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 СТО 59012820.29.240.001-2011. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Противоаварийная автоматика энергосистем. Условия организации процесса. Условия создания объекта. Нормы и требования. -М., 2011.

2 Реконструкция вычислительного комплекса противоаварийной автоматики западной и центральной части ОЭС Сибири, установленного на ПС Итатская. Техническое задание. -Инв. №230-16-т1. -Новосибирск: СИЭСП, 1995.

3 Горюнов, А.Г. Телеконтроль и телеуправление: учеб. пособие / А.Г. Горюнов с.Н. Ливенцов, Ю.А. Чурсин. -Томск: Изд-во Томск. политехн. ун-та, 2010.

4 Создание системы сбора и передачи информации комплекса ПА Западной и Центральной части ОЭС Сибири. Этап I. Разд.1. Дополнительные работы по I-этапу. Данные настройки УВК АДВ в режиме работы по принципу 2ДО. -Инв. №230/ 00/ 2-16-т6. -Новосибирск: ИАЭС, 2003.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: системы сбора и передачи доаварийной информации, центральная приемо-передающая станция, управляющий вычислительный комплекс автоматики дозировки воздействия

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Лизалек Николай Николаевич, докт. техн. наук, главный научный сотрудник ЗАО «ИАЭС»

Жидков Вячеслав Владимирович, заведующий отделом ЗАО «ИАЭС»

Смолина Елена Георгиевна, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ КОМПЛЕКСА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОЭС СИБИРИ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Т.Н. Юшкова

CREATION AND MODERNIZATION SYSTEM OF COLLECTION AND TRANSMISSION INFORMATION FOR EMERGENCY CONTROL COMPLEX OF WESTERN AND CENTRAL PARTS OF INTERCONNECTED POWER SYSTEM SIBERIA
Institute of power system automation

T.N. Yushkova

The systems of collection and transmission information (SCTI) play an important role in modern complexes of emergency control systems, which represent a set of devices of measure and capture parameters pre-accident mode, devices of teleautomatic and communication channels.

Keywords: pre-accident information

Важную роль в современных устройствах противоаварийной автоматики играют системы сбора и передачи доаварийной информации (ССПИ), которые представляют совокупность устройств измерения и фиксации параметров доаварийного режима, устройств телемеханики и каналов связи.

Развитие противоаварийной автоматики, в настоящее время, идет по пути создания централизованных комплексов управления, оснащенных вычислительными устройствами и способных на основе информации о текущем режиме ЭЭС и возникающих аварийных возмущениях определять необходимые управляющие воздействия и передавать команды для их исполнения.

Система сбора и передачи доаварийной информации (ССПИ) комплекса противоаварийной автоматики для Западной и Центральной части ОЭС Сибири изначально была разработана в 80-х гг. прошлого столетия на базе аппаратуры типа ТМ-800. Она предназначалась для обеспечения функционирования устройств АДВ на ПС 1150 кВ Итатская, выполненных на базе комплекса устройств ТА-100 – ТМ 131 (УДВП) и на базе типовых шкафов ШП-2701, представляющих собой аналогово-релейные устройства контроля мощности в предшествующем режиме (УДВР).

В настоящее время на ПС 1150 кВ Итатская установлен и функционирует УВК АДВ на базе современной микропроцессорной техники (КПА-М). Вместе с тем ССПИ, обеспечивающая доаварийной информацией УВК АДВ, остается прежней, на уровне 1980-х гг. прошлого века, а именно - по каналам телемеханики по протоколу ТМ 800 со скоростью 100 бод, цикл передачи которого составляет 8-16 с.

Для целей обеспечения выбора управления комплексом АДВ ПС Итатская по принципу I ДО ведутся работы по реконструкции системы сбора и передачи информации. В составе работ по реконструкции ССПИ комплекса ПА Западной и Центральной части ОЭС Сибири проведена замена и расширение на всех объектах МЭС Сибири (на подстанциях 500 кВ и 1150 кВ), входящих в район управления, объема устройств, контролирующих режимные параметры (активные и реактивные мощности по ВЛ 500-220 кВ, напряжения на шинах 500-220 кВ ПС) и состояние элементов сети. Проведена замена каналаобразующей аппаратуры АНКА-АВПА на аппаратуру нового поколения с внутриаппаратной оцифровкой сигналов, серии ETL 500 производства ОАО «АББ-Энергосвязь». На момент начала работ это оборудование было, пожалуй, единственным широко представленным на рынке.

Передача доаварийной информации с каждого энергообъекта на ПС 1150 кВ Итатская осуществляется по предусмотренным для команд ПА одноканальным системам ETL 500, используя верхнюю (надтональную) часть спектра. Топология каналов связи между подстанциями не позволяет организовать обмен информацией по наиболее надежной и быстродействующей схеме – радиальной, таким образом, дуплексные каналы ТМ организуются по радиально-магистральной структуре.

Основные требования и особенности, учитываемые при разработке ССПИ:

- необходимость 100% аппаратного резервирования системы;
- необходимость передачи информации основного и резервного потоков на центр сбора по разнесенным географическим трассам;
- использование ограниченного количества каналов связи между энергообъектами.
- на каждом энергообъекте устанавливаются два устройства КП телемеханики, одно из которых можно назвать условно «основным» (первым), другое – «резервным» (вторым). Оба устройства находятся в работе одновременно и работают параллельно.

При выборе типа аппаратуры телемеханики учитывались следующие обстоятельства:

- коммуникационные возможности аппаратуры, то есть возможность работы в сети по нескольким направлениям с различными скоростями и протоколами;
- модульность конструкции и построения аппаратуры, то есть возможность последующего наращивания емкости и изменения функциональности;
- возможность работы с различными ОИК;
- стоимостные показатели.

Скорость передачи сигналов ТМ по ВЧ каналам принята 600 бод, исходя из требования минимизации времени обновления информации с одной стороны и возможностями систем передачи ETL 500, с другой.

За время реконструкции ССПИ комплекса ПА Западной и Центральной части ОЭС Сибири схема сети ВЛ 500 кВ изменилась: появились ПС 500 кВ Алюминиевая, ПС 500 кВ Кузбасская, появились новые ВЛ 500 кВ, волоконно-оптические линии связи (ВОЛС). Все это имело отражение в проектных работах по реконструкции. Появление ВОЛС открыло новые перспективы и позволило организовать основные каналы ТМ радиальными и повысить скорость передачи данных до 9600 бод.

Завершение работ по реконструкции в.ч. каналов сдерживается недостатком финансирования со стороны владельцев смежных концов ВЛ – АО-электростанций.

В настоящее время на Назаровской ГРЭС и Красноярской ГЭС не завершены работы по реконструкции ССПИ. На Беловской ГРЭС нет возможности подключить устройство телемеханики, так как канал телемеханики занят существующей ССПИ с передачей данных по протоколу ТМ-800.

Задачи и проблемы:

- Необходимость сохранения в работе существующей ССПИ на аппаратуре ТМ800 для обеспечения работоспособности УВК АДВ на ПС Итатской. Для этого используются каналы ТМ, которые должны быть резервными для новой ССПИ.
- Не на всех в.ч. каналах заменена аппаратура. Существующая (АВПА-АНКА) не обеспечивает передачу информации с необходимой скоростью. Задерживается реконструкция каналов, проходящих через объекты АО-электростанций.
- На магистральных каналах значительное время занимают накладные расходы. По этой причине пришлось отказаться от использования полнодоступной схемы, когда каждое устройство ТМ имеет доступ к каждому каналу связи. Время обновления в такой схеме увеличивается более чем в 2 раза за счет лишних переспросов, тайм-аутов и т.д. Аппаратно схема с полным доступом реализована, но опрос дублирующих КП заблокирован с ЦППС

для улучшения временных характеристик системы.

Основными препятствиями на пути реконструкции ССПИ комплекса противоаварийной автоматики Западной и Центральной части ОЭС Сибири стала незаинтересованность генерирующих компаний в модернизации устройств телемеханики. На некоторых электрических станциях до сих пор не выполнены работы по реконструкции устройств телемеханики, что в свою очередь не позволяет ввести в работу каналы связи по современному протоколу МЭК 60870-5-101. Отсутствие системного видения реконструкции ССПИ ряда проектных организаций, выполняющих проектирование реконструкции масштабной ССПИ комплекса противоаварийной автоматики Западной и Центральной части ОЭС Сибири в пределах одного энергообъекта.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: доаварийная информация

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Юшкова Татьяна Николаевна, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ

Сибирский научно-исследовательский институт энергетики, филиал
ОАО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы»

Г.В. Рогов, А.П. Долгов, М.Ю. Востряков

VOLTAGE QUALITY INCREASING AT EXTERNAL RAILROAD POWER SUPPLY SYSTEMS

Siberian research institute of power engineering, branch of Scientific and technical center

of the Federal grid company of unified energy system

G.V. Rogov, A.P. Dolgov, M.Yu. Vostryakov

Power quality at external railroad power supply systems of Russia generally does not meet the demands of existing normative documents. Using the devices of centralized impact at power supply systems voltage to increase power quality is proposed.

Keywords: complex power quality increasing, voltage source converter, per phase regulation

Качество электроэнергии в системах внешнего электроснабжения железных дорог России зачастую не отвечает требованиям, предъявляемым существующими нормативами. Для повышения качества электроэнергии в статье предлагается применение устройств централизованного воздействия на напряжение системы внешнего электроснабжения.

Существующие средства комплексного повышения качества электроэнергии (КЭ), основанные на средствах силовой электроники, оказывают местное воздействие: на ток одного присоединения или напряжение на шинах среднего или низкого напряжения. В электрических системах с распределенными искажающими нагрузками целесообразным может быть централизованное воздействие: на напряжение на шинах высокого напряжения. Это позволит существенно повысить КЭ во всей сети при установке одного устройства.

Устройство комплексного повышения КЭ, напрямую действующее на напряжение высоковольтной сети можно назвать активным кондиционером напряжения (АКН). АКН представляет собой преобразователь напряжения (ПН) с конденсатором на стороне постоянного тока, подключенный через трансформатор к сети высокого напряжения (рисунок 1). ПН построен на полностью управляемых вентилях с высокой частотой коммутации. Независимый выбор моментов коммутации вентилей фаз позволяет создавать на выводах ПН несимметричное напряжение. Использование широтно-импульсной модуляции дает возможность управлять гармоническим составом напряжения. Стратегия управления АКН заключается в том, что на выводах ПН создается такое напряжение, которое обеспечивает поддержание на шинах подстанции желаемого напряжения. Желаемое напряжение представляет собой симметричную систему синусоидального напряжения заданной величины. Напряжение на выводах ПН при этом в общем случае несимметрично и содержит высшие гармоники.

На сегодняшний день возможно создание АКН на базе IGBT (insulated gate bipolar

transistor – биполярный транзистор с изолированным затвором). Существуют IGBT на 3500 В, 1200 А [1] и более при предельной частоте коммутации несколько десятков килогерц. С целью повышения допустимого тока плеча и мощности ПН используется параллельное соединение нескольких вентиляй в одном плече. Для увеличения напряжения ПН применяется последовательное соединение нескольких вентиляй в одном плече. Последовательное и параллельное соединение вентиляй позволило построить ПН мощностью 100 МВА и выше и напряжением до 35 кВ. Создание ПН напряжением 110-220 кВ нецелесообразно. К сетям такого напряжения ПН подключают через трансформаторы.

Нами была разработана модель электрической системы с АКН (в приложении Simulink пакета MATLAB). Результаты моделирования представлены на рисунках 2 и 3. Включение АКН происходит в момент 0,2 с. До этого можно наблюдать исходную картину, характеризующуюся высокой степенью несинусоидальности и несимметрии. В момент 0,4 с в системе происходит изменение, в результате которого ухудшается КЭ. АКН за малое время подстраивается к изменению режима и подавляет высшие гармоники и напряжение обратной последовательности.

Была рассмотрена возможность решения задачи повышения КЭ в системе внешнего электроснабжения Байкало-Амурской магистрали уровня 2015 г. К 2015 г. в сети планируется установка нескольких средств компенсации реактивной мощности (СКРМ), однако перспективные СКРМ не учитывались, так как их функции могут выполнять АКН.

Расчеты, выполненные на основе имитационного моделирования движения поездов с помощью программного комплекса Fazonord-качество [2], показывают, что установка двух АКН ориентировочной мощностью по 40 МВА на подстанциях Киренга и Уоян позволяет добиться соответствия КЭ требованиям ГОСТ на всех подстанциях.

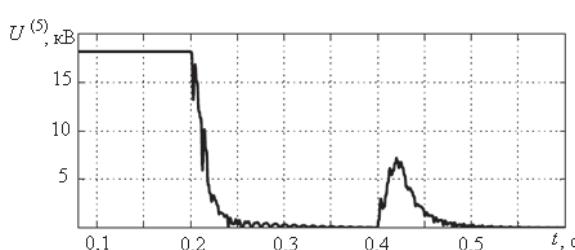


Рисунок 2 – Изменение действующего значения напряжения пятой гармоники в точке подключения АКН

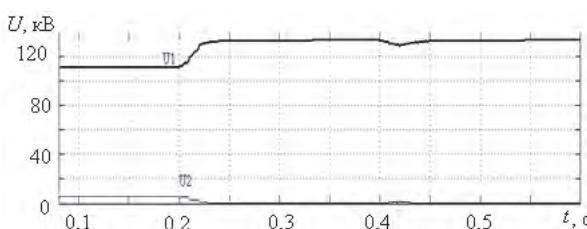


Рисунок 3 – Изменение напряжения прямой и обратной последовательности в точке подключения АКН

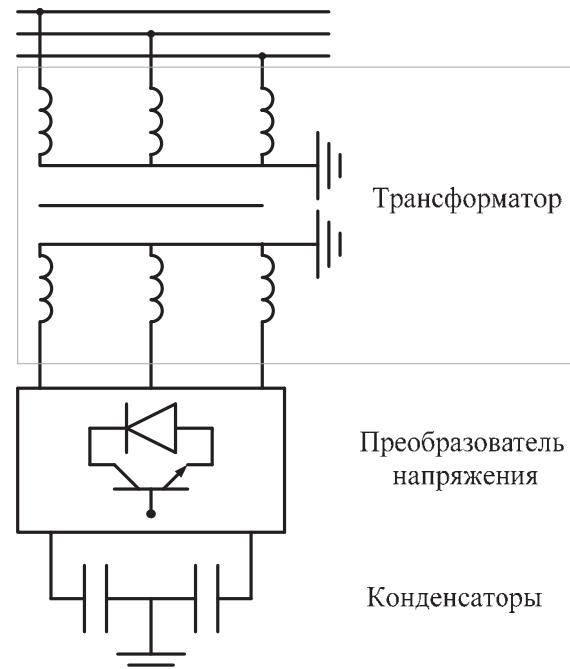


Рисунок 1 – Принципиальная схема устройства комплексного повышения качества электроэнергии

В системе внешнего электроснабжения Забайкальской железной дороги КЭ неудовлетворительно, особенно в части несимметрии и отклонения напряжения, рисунок 4.

Введение в работу Забайкальского преобразовательного комплекса (ЗБПК) на ПС Могоча существенно улучшает положение, но в ремонтных и послеаварийных режимах возможно существенное ухудшение КЭ вплоть до положения при отключении ЗБПК.

Установка двух пофазно управляемых СКРМ мощностью 10 МВАР на каждую фазу дает возможность нормализовать положение по несимметрии и отклонению напряжения практически по всей протяженности Забайкальского транзита вплоть до ПС Могоча, рисунки 5 и 6.

Функцию пофазно управляемых СКРМ может выполнить АКН, однако стоимость элементной базы велика (суммарная стоимость порядка 300 долларов·кВА) и в рассматриваемом случае целесообразно исполнение устройств, например, в виде статического тири-

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

сторного компенсатора в составе: реакторы, тиристорный блок, фильтр, силовой трансформатор.

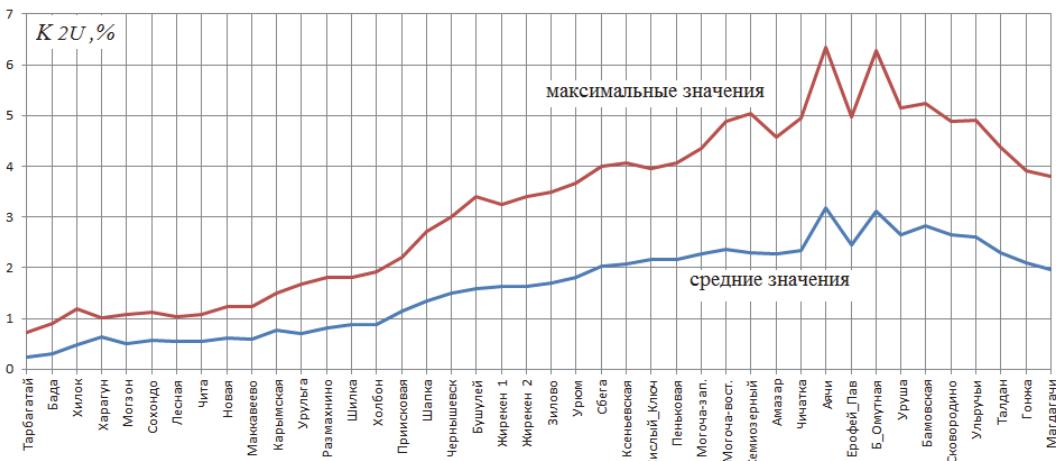


Рисунок 4 – Изменение коэффициентов несимметрии напряжения по транзиту 220 кВ Забайкальской железной дороги по обратной последовательности

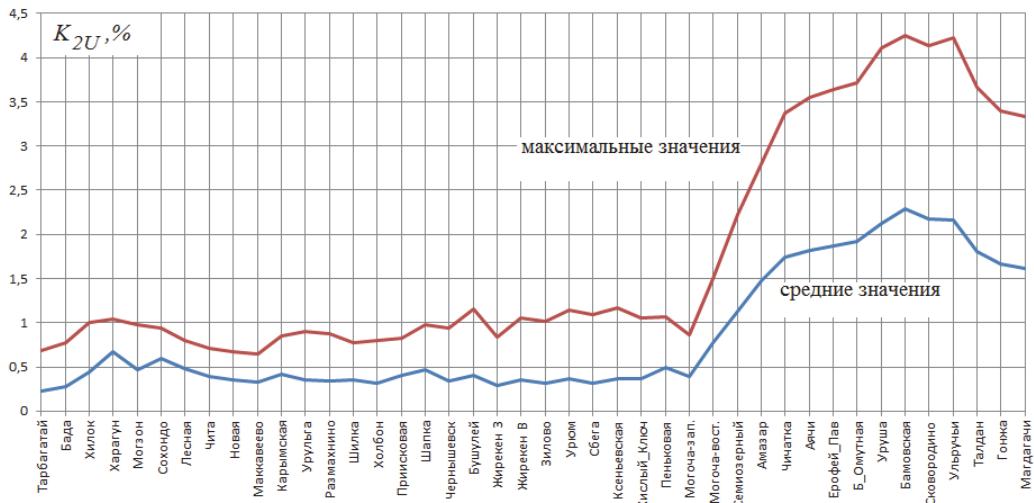


Рисунок 5 – Изменение коэффициентов несимметрии напряжения по обратной последовательности по транзиту 220 кВ Забайкальской железной дороги при учете ЗБПК и пофазно управляемых СКРМ на ПС 220 кВ Жирекен

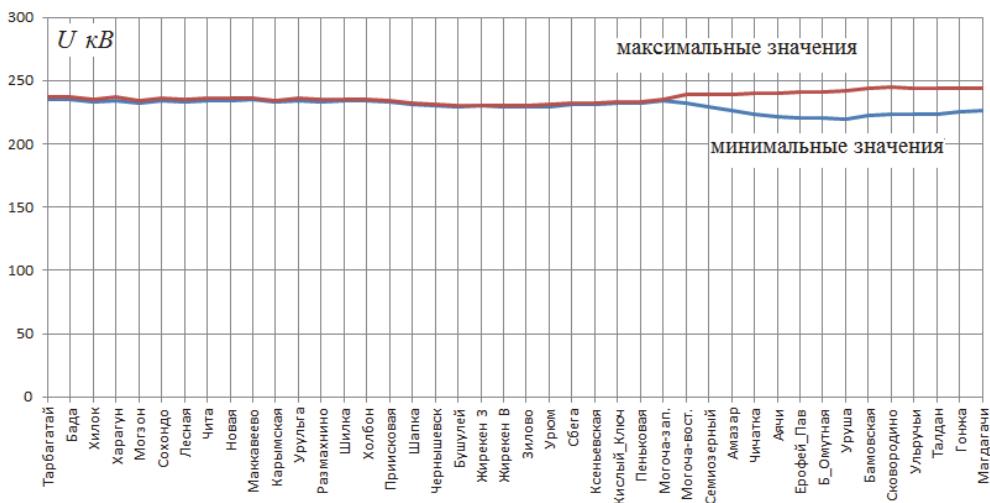


Рисунок 6 – Изменение напряжений по транзиту 220 кВ Забайкальской железной дороги при учете ЗБПК и пофазно управляемых СКРМ на ПС 220 кВ Жирекен

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Зиновьев, Г.С. Основы силовой электроники / Г.С. Зиновьев. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. техн. ун-та., 2004. -672 с.
- 2 Fazonord-Качество -Расчеты показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения в фазных координатах с учетом движения поездов: свидетельство об офиц. регистрации прогр. для ЭВМ №2007612771 / Закарюкин В.П. (РФ), Крюков А.В. (РФ). -Федер. служба по интеллект. собственности, пат. и товар. знакам., 28.06. 07.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: комплексное повышение качества электроэнергии, преобразователь напряжения, пофазное регулирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Рогов Григорий Викторович, канд. техн. наук, ведущий инженер СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Долгов Александр Павлович, канд. техн. наук, главный специалист СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

Востряков Михаил Юрьевич, заведующий сектором СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630126, г.Новосибирск, ул. Кленовая, 10/1, СибНИИЭ, филиал ОАО «НТЦ ФСК ЕЭС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,4-2 кВ УСТАНОВКИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ ИЗ ГЛУБИННОЙ СКВАЖИНЫ

Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «Омский государственный технический университет»

Н.А. Ковалева

STUDY HARMONIC INFLUENCE ON THE ELECTRIC GRID 0,4-2 kV PLANTS FROM ARTIFICIAL LIFT WELL DEPTH

Nizhnevartovsk branch Omsk state technical university

N.A. Kovaleva

The results of studies nonsinusoidality line voltage 0,4-2 kV deep wells for oil. Provides recommendations to improve the quality of electricity.

Keywords: electric network, commercial transformer, ratio n-th harmonic component of the voltage, nonsinusoidality voltage, measuring system, experiment

Анализируются результаты исследований несинусоидальности напряжений в электрической сети 0,4-2 кВ глубинной скважины по добыче нефти. Приводятся рекомендации по повышению качества электроэнергии.

Значительная часть месторождения нефти в России имеет низкие пластовые давления вследствие истощенности из-за многолетней эксплуатации нефтяных пластов, а также большую глубину залегания последних, превышающую во многих случаях 3500 м и требующую использования механизированной добычи нефти [1]. Погружные установки электроцентробежных насосов (УЭЦН) обеспечивают эффективную механизированную добычу нефти из глубинных скважин благодаря отсутствию длинной движущейся механической связи (штанги) между электроприводом и насосом. УЭЦН также эффективны на месторождениях с большим содержанием свободного газа и механических примесей в отключаемой пластовой жидкости, с отложением солей на элементах погружного оборудования.

Областью исследования является действующая типовая скважина №118 механизированной добычи нефти (куст 32) Ермаковского месторождения. Электрооборудование, сети систем электроснабжения, связи и автоматики этой скважины представляют электротехнический комплекс, который содержит наземное и погружное электрооборудование.

К наземным электроустановкам относятся комплектная трансформаторная подстанция наружной установки (КТПН), станция управления (СУ) серии «Электон-05» и промысловый трансформатор типа ТМПНГ 250/3. Электроснабжение глубинной скважины осуществляется по воздушной линии (ВЛ) электропередачи напряжением 6 кВ. Погружное электрооборудование УЭЦН состоит из многоступенчатого электроцентробежного насоса типа ЭЦН-5-125-1700 с электродвигателем типа ПЭД-57-117. Дебит насоса составляет 125 м³/сутки, допустимый напор – 1700 м водяного столба.

Источником высших гармонических составляющих напряжения в узле нагрузки сети

(0,4-2) кВ является СУ «Электон-05», силовой канал которой представляет двухступенчатый преобразователь энергии, обеспечивающий частотное регулирование вращением погружного электродвигателя. Для осциллографирования несинусоидальных токов и напряжений разработана поисковая система измерений, основной задачей которой является регистрация событий в характерных точках сети (рисунок 1). Применяются только сертифицированное электрооборудование и средства измерений. Используется анализатор качества электрической энергии серии АКЭ-823, который разработан на основе Windows CE в соответствии с директивой Международной электротехнической комиссии (МЭК 61010). Анализатор имеет математическое обеспечение для первичной обработки результатов измерений.

Математическая обработка осциллограмм трехфазных токов и напряжений, полученных с помощью 1-й системы измерений на входе 0,4 кВ СУ «Электон-05», показала присутствие в сети 61-й гармоники тока и напряжения. Наглядное представление о соотношениях в фазе А высших гармоник (до 15-й включительно) напряжения и тока дает рисунок 2.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_u в исследуемой точке сети 0,4 кВ составляет в фазе А 3,59%, В – 3,85% и С – 3,59%. Значения K_u не превышают нормально допустимого значения (8%) [2]. Поэтому кондуктивная низкочастотная электромагнитная помеха (ЭМП) по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения не обнаружена.

Наибольшие коэффициенты n -ых гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ наблюдаются у нечетных гармоник не кратных трем. Однако, все они меньше нормально допустимых значений. Например, $K_{U(5)} = 2,56\%$ меньше нормально допустимого значения (6%) в 2,34 раза и т.д. В связи с этим кондуктивные низкочастотные ЭМП по коэффициентам n -ых гармонических составляющих напряжений также отсутствуют.

Коэффициент гармоник тока K_t составляет в фазе А-46,1%, В-46,3%, С-47,26%. Этот коэффициент превышает суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения в фазе А в 12,8 раза, В – 12 раз, С – 13,2 раза. Хотя коэффициент K_t в электрической сети 0,4 кВ не нормируется, но очевидно, что такой гармонический состав тока нагрузки снижает качество функционирования электрической сети [3].

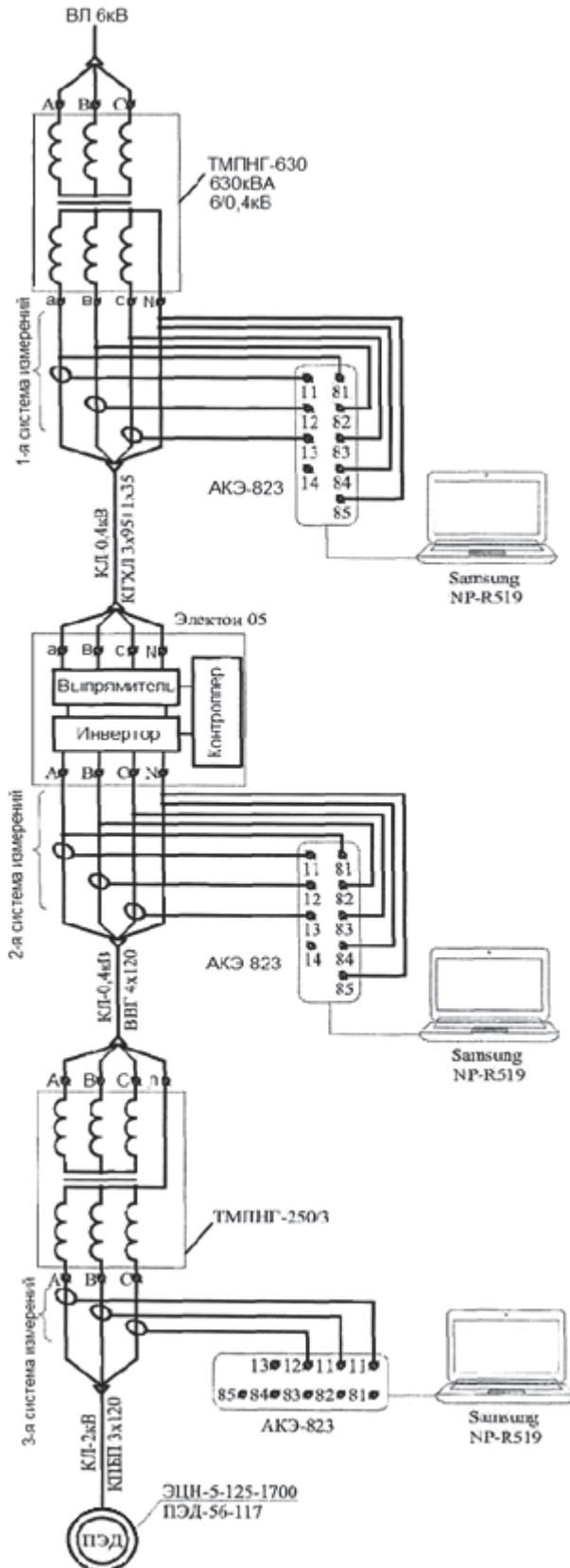


Рисунок 1 – Электрическая схема подключения систем измерения параметров электромагнитной обстановки в сети 0,4-2 кВ механизированной добычи нефти

Гармонический анализ искажений синусоидальных токов и напряжений на входе 0,4 кВ промыслового трансформатора типа ТМПНГ 250/3, полученных 2-й системой измерения, выделяет 64 гармоники напряжения и только 17 гармоник тока. Наглядное представление о соотношениях действующих значений высших гармоник напряжения и тока (до 15-й гармоники включительно) дает рисунок 3.

Суммарный коэффициент гармонических составляющих напряжения K_u на стороне 0,4 кВ (ввод) промыслового трансформатора типа ТМПНГ 250/3 составляет в фазе А 71,45%, В – 70,95%, С – 72,06%. Значение K_u в фазе А превышает нормально допустимое (8%) в 8,9 раз, В – 8,8 раз, С – 9 раз [2]. Значит, во всех фазах электрической сети действуют кондуктивные низкочастотные ЭМП по суммарному коэффициенту гармонических составляющих напряжения. Изоляция первичной обмотки промыслового трансформатора работает в сложной электромагнитной обстановке, обусловленной гармоническим воздействием.

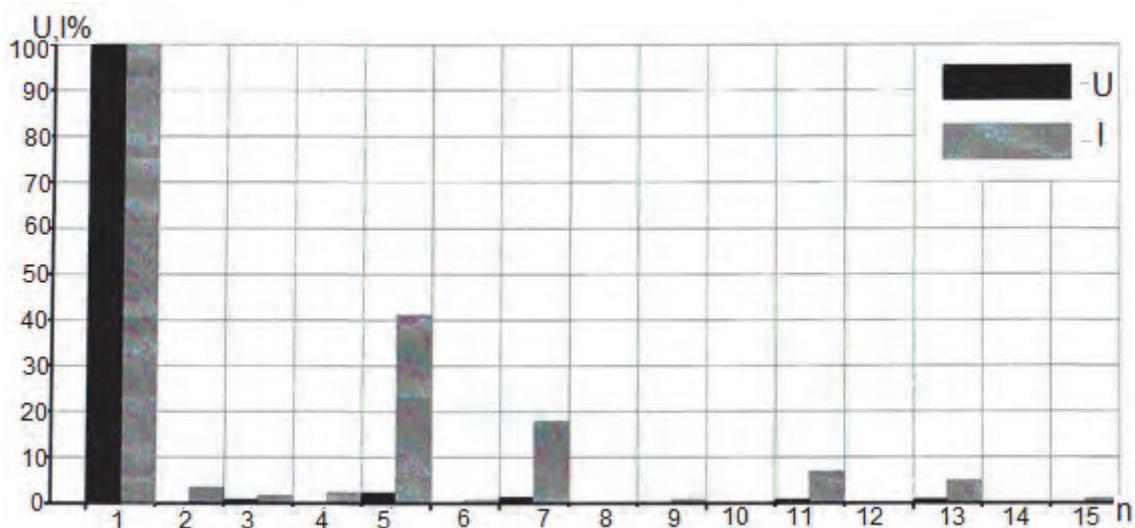


Рисунок 2 – Гармонический состав тока и напряжения фазы А сети 0,4 кВ на входе станции управления «Электрон-05» (1 система измерений)

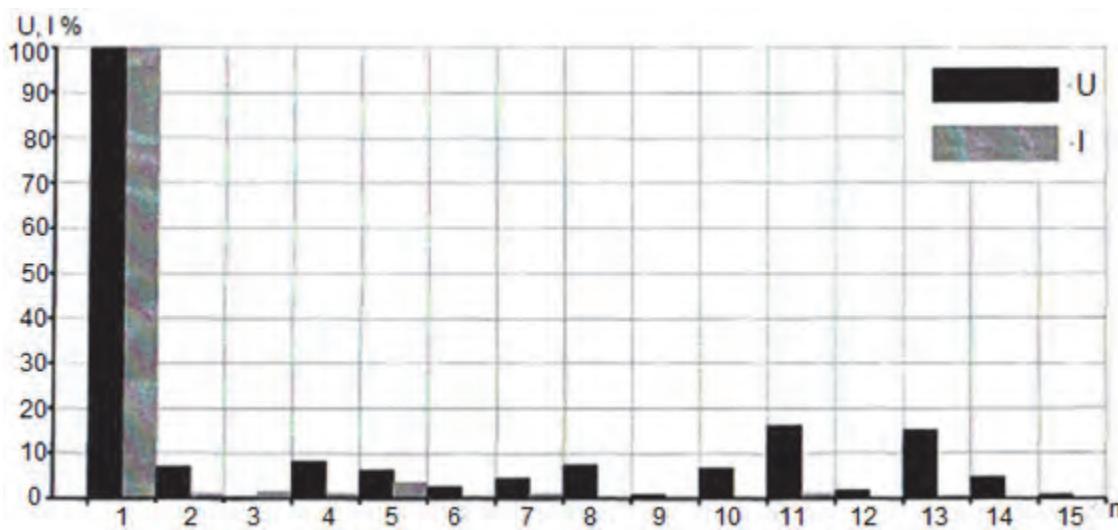


Рисунок 3 – Гармонический состав тока и напряжения фазы А сети 0,4 кВ на выходе станции управления «Электрон-05» (2 система измерений)

Коэффициенты n -ых гармонических составляющих напряжения, кроме 3-ей гармоники, превышают свои нормально допустимые значения [2]. Наибольший коэффициент 11-й гармоники (16,67%) превышает допустимое значение (3,5%) в 4,76 раза, а наименьший коэффициент 34-й гармоники (0,35%) превышает допустимое значение (0,2%) в 1,75 раз. В этой части электрической сети 0,4 кВ действуют кондуктивные низкочастотные ЭМП по коэффициентам n -ых гармонических составляющих напряжения [3].

Коэффициент гармоник тока K_1 нагрузки промыслового трансформатора составляет в фазе А – 6,46%, В – 6,26%, С – 5,99%. Этот коэффициент меньше суммарного коэффициента гармоник напряжения в фазе А в 11,06 раза, В – 11,33 раза, С – 11,72 раза.

Третья система измерений осциллографировала и обрабатывала осциллограммы тока нагрузки погружного электродвигателя типа ПЭД 56-117. Осциллографирование напряжений в сети 2 кВ не осуществлялось. Высшие гармонические составляющие напряжения в этой точке сети с достаточной точностью представления можно оценить по результатам измерения 2-й системы. На рисунке 4 представлен спектр высших гармоник тока до 15-й включительно. Коэффициент гармоник тока K_1 в сети 2 кВ составляет в фазе А – 6,06%, В – 6,13%, С – 6,15%.

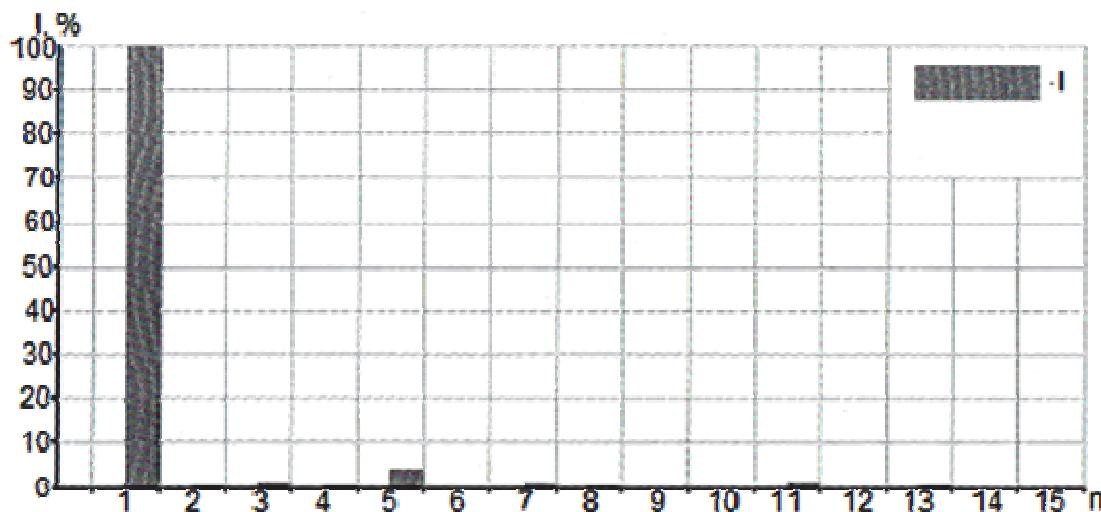


Рисунок 4 – Гармонический состав тока фазы А сети 2 кВ питания погружного электродвигателя (3 система измерений)

Таким образом, натурный пассивный эксперимент, поставленный в производственных условиях, позволяет оценить гармоническое воздействие на изоляцию сетей и электрооборудования узла нагрузки глубинной скважины по добыче нефти:

– суммарные коэффициенты высших гармонических составляющих напряжения по фазам сети 0,4 и 2 кВ с вероятностью 0,95 превышают нормально допустимое значение (8%) в (8,8-9) раз;

– наибольший коэффициент 11-й гармоники напряжения с вероятностью 0,95 превышает допустимое значение (3,5%) в 4,76 раз, а наименьший коэффициент 34-й гармоники напряжения превышает с вероятностью 0,95 допустимое значение (0,2%) в 1,75 раз.

В связи с этим, для повышения надежности и экономичности работы установки механизированной добычи нефти из глубинных скважин рекомендуется подавить гармоническое воздействие на сеть и электрооборудование с помощью специальных технических средств [3].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Ковалев, А.Ю. Опции станций управления погружными установками электроцентробежных насосов для добычи нефти / А.Ю. Ковалев, Е.М. Кузнецов, В.В. Аникин. -Омск: Изд-во ОмГТУ, 2012. -48 с.: ил.
- 2 ГОСТ 32144-2013. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (EN 50160:2010, NEQ). -М.: Стандартинформ, 2014. -16 с.
- 3 Повышение качества функционирования линий электропередачи / Г.А. Данилов, Ю.М. Денчик, М.Н. Иванов, Г.В. Ситников; под ред. В.П. Горелова и В.Г. Сальникова. -Новосибирск: Изд-во Новосиб. гос. акад. вод. трансп., 2013. -559 с.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электрическая сеть, промысловый трансформатор, коэффициент n -ой гармонической составляющей напряжения, несинусоидальность напряжения, система измерений, эксперимент

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ковалева Наталья Александровна, преподаватель Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 628600, Тюменская область, (ХМАО-Югра), г.Нижневартовск, Западный промышленный узел, Панель 14, ул.Индустриальная, 46, Нижневартовский филиал ФГБОУ ВПО «ОмГТУ»

УСКОРЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ КАК ВОЗМОЖНОЕ МЕРОПРИЯТИЕ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ЗАТЯНУВШИХСЯ КОРотких ЗАМЫКАНИЯХ

ЗАО «Институт автоматизации энергетических систем»

Н.С. Стручкова

THE ACCELERATING ACTION OF THE DEVICE REDUNDANCY SWITCH AS A POSSIBLE MEASURE TO PREVENT VIOLATIONS OF DYNAMIC STABILITY DURING PROLONGED SHORT CIRCUITS

Institute of power system automation

N.S. Struchkova

This article describes the effect of accelerated device redundancy switch as a control of emergency automatics. The acceleration device redundancy switch allows to increase the dynamic stability of power plants in near and prolonged short circuits on adjacent connections. However, for the application of accelerated device redundancy switch it is necessary to analyze the feasibility and effectiveness of its implementation. The article describes the basic criteria for the selection of the time delay device redundancy switch and ways of reducing them, as well as a comprehensive approach to the implementation of the accelerated device redundancy switch on the base of microprocessor devices «Complex emergency automatics-multi» manufactured by JSC «Power system automation institute».

Keywords: device redundancy switch, accelerating action, dynamic stability

Рассмотрено ускорение действия устройств резервирования отказов выключателей (УРОВ) в качестве управляющего воздействия противоаварийной автоматики. Ускорение УРОВ позволяет повысить динамическую устойчивость электростанций при близких и затянувшихся коротких замыканиях на прилежащих присоединениях. Однако, для применения ускоренного УРОВ необходимо проанализировать возможность и эффективность его реализации. В статье описаны основные критерии выбора выдержки времени УРОВ и способы её уменьшения, а также комплексный подход к реализации ускоренного УРОВ на базе микропроцессорных устройств КПА-М производства ЗАО «ИАЭС».

В соответствии с установленными требованиями «Методических указаний по устойчивости энергосистем» [1] необходимо сохранить динамическую устойчивость объекта энергосистемы (например, станции) при указанных расчетных возмущениях. Наиболее опасные – это возмущения III группы, которые являются расчетными в полной схеме объекта.

Для станции с РУ 110-220 кВ возмущением III группы задаются близкие к шинам металлические трёхфазные КЗ с действием устройства резервирования отказа выключателя (УРОВ) [1].

Условия трехфазного короткого замыкания (КЗ) вблизи шин станции и пренебрежение активной составляющей шунта КЗ за счет горения дуги, приводят к полному отсутствию момента сопротивления на валу генератора (турбины). При этом условия его разгона зависят только от доаварийной выдаваемой мощности, момента инерции и времени существования данного повреждения. При дальнейшем развитии аварии длительная ликвидация КЗ при отказе выключателя и действии УРОВ может привести к неэффективности любых противоаварийных мероприятий. Особенно этот недостаток проявляется при расчете отказа выключателя с трехфазным приводом. Учет активного шунта КЗ, обусловленного горением дуги, значительно облегчило бы условия динамической устойчивости станций и расширило бы спектр применяемых устройств выключения (УВ), что позволило бы во многих случаях сохранять устойчивость только за счет корректного выбора уставок УРОВ и комбинированного УВ. Пример расчета динамической устойчивости без учета $R_{\text{дуги}}$ в месте КЗ показан на рисунке 1а, с учетом $R_{\text{дуги}} = 1,5 \text{ Ом}$ – на рисунке 1б.

Исходя из существующих требований НТД, рассмотрим более подробно методы сохранения динамической устойчивости.

Во многих случаях единственным возможным мероприятием сохранения динамической устойчивости является ускорение действия УРОВ.

Ускорение действия УРОВ является снижение выдержки времени. Выбор выдержки времени УРОВ зависит от многих критериев. В соответствии с «Руководящими указаниями по релейной защите. Устройство резервирования при отказе выключателей 35-500 кВ» [2], время выдержки УРОВ

$$t_{\text{уроб}} = t_{\text{откл.в}} + t_{\text{возвр.уст}} + t_{\text{погр}} + t_{\text{зап}}, \quad (1)$$

где $t_{\text{откл.в}}$ – время отключения выключателя;

$t_{возвр.уст}$ – время возврата устройства (реле РЗ, пускающей УРОВ, или реле контроля тока через выключатель УРОВ);
 $t_{погр}$ – время погрешности реле времени УРОВ, разброс времени реле;
 $t_{зап}$ – время запаса.

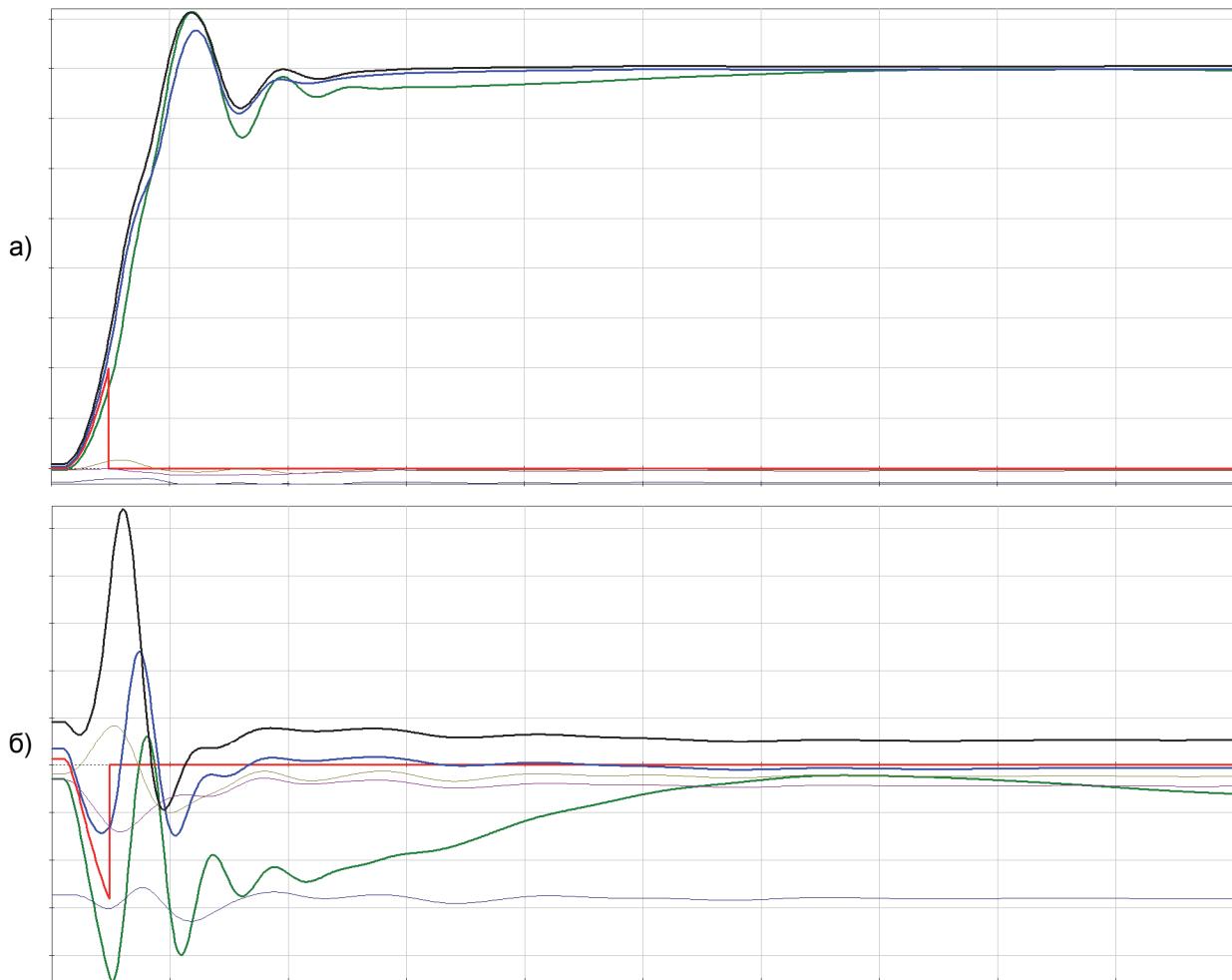


Рисунок 1 – Изменение динамических характеристик

Одним из основных критериев расчета выдержки времени является вид выключателя присоединения и базы устройств РЗА.

Рассмотрим случай оснащения объекта энергосистемы (в данном случае ЛЭП) воздушным выключателем типа ВВД-220, комплектом ступенчатых защит и УРОВ, выполненных на электромеханической базе с использованием реле времени УРОВ типа ЭВ-238. Время выдержки УРОВ при этом составит порядка 0,7 с и рассчитывается следующим образом

$$t_{уроv} = 0,08 + 0,26 + 0,25 + 0,10 = 0,69 \text{ с.}$$

Если учитывать вышеприведенные факторы, то выдержка времени должна приниматься 0,7 с.

В условиях, когда выдержка времени УРОВ отстраивается от времени отключения выключателя, времени возврата реле контроля тока через выключатель УРОВ и времени запаса для объектов напряжение 220 кВ можно принять $t_{уроv} = 0,5$ с. Однако, при таком решении необходимо считаться с возможностью излишней работы УРОВ [3].

$$t_{уроv} = 0,08 + 0,04 + 0,25 + 0,10 = 0,47 \text{ с.}$$

Даже при выдержке времени $t_{уроv} = 0,5$ с, в некоторых случаях время процесса ликвидации затянувшегося КЗ больше времени, при котором возможно сохранение динамической устойчивости.

Во многом критерии выбора выдержки времени УРОВ не изменились до сих пор, несмотря на исключение реле времени как отдельного устройства со своими погрешностями и изменения характеристик отключения современных выключателей.

Рассмотрим случай наличия на объекте энергосистемы современного элегазового выключателя ВЭБ-220 и современного микропроцессорного комплекта защит, совмещенного с устройством АУВ, где реализуется функция УРОВ.

Основной проблемой при задании выдержки времени УРОВ в устройствах на электромеханической базе была погрешность реле времени и время возврата реле контроля тока через выключатель устройств РЗ или УРОВ. При применении современного оборудования и устройств РЗА, из формулы (1) можно исключить $t_{\text{пое}}\text{r}$, уменьшить $t_{\text{возвр.уст}}$, но целесообразно включить время программного цикла расчета t_u . Это время обусловлено различной логикой описания программного обеспечения. Для унификации подхода принимаем $t_u = 10$ мс.

Возможным исключение $t_{\text{пое}}\text{r}, t_{\text{возвр.уст}}$ стало применение в современных устройствах РЗА операционных систем «жесткого реального времени», что обеспечивает однозначность длительности цикла расчета и конечно последовательное выполнение логических операций в одном устройстве на одном цикле расчета.

$$t_{\text{уров}} = t_{\text{откл.в}} + t_{\text{откл.в}} + t_{\text{возвр.уст}} + t_{\text{зап}} = 0,04 + 0,03 + 0,03 + 0,10 = 0,20 \text{ с.} \quad (2)$$

Время выдержки УРОВ в соответствии с формулой (2) снижается в два раза и позволяет улучшить условия сохранения динамической устойчивости станции.

Уменьшение времени действия УРОВ бесконечно невозможно, и при минимальных временах (в граничных условиях) это может приводить к излишнему действию и, как следствие, к развитию аварийной ситуации. Поэтому снижение выдержки времени УРОВ необходимо выполнять с учетом индивидуальных особенностей энергообъекта или ускорять его действие только в исключительных случаях.

Для снижения вероятности ложной работы ускоренного УРОВ в целях повышения динамической устойчивости необходимо выполнение контроля дополнительных параметров. Для возможности реализации минимальной выдержки времени необходимо разрешающее воздействие от противоаварийной автоматики (ПА), оценивающей тяжесть КЗ.

Например, новый алгоритм фиксации тяжести короткого замыкания (ФТКЗ), разработанный ЗАО «ИАЭС», ФТКЗ с адаптивной доаварийной самонастройкой параметров срабатывания.

Алгоритм ускоренного УРОВ, разработанный ЗАО «ИАЭС», предлагает следующее решение: в стандартный алгоритм УРОВ включить дополнительную выдержку времени, с меньшей уставкой, параллельно стандартной. Контроль тока через выключатель и выходные воздействие осуществляется элементами стандартного УРОВ.

Выходное воздействие с меньшей выдержкой времени формируется при наличии разрешающего пускового сигнала от ФТКЗ (рисунок 2).

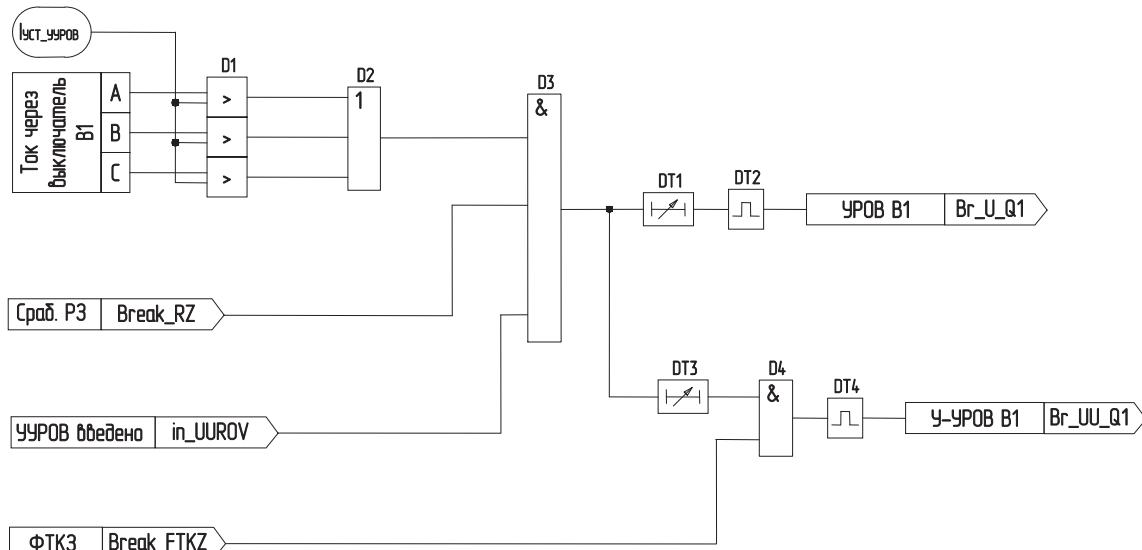


Рисунок 2 – Алгоритм формирования сигнала ускоренного УРОВ: DT1 – выдержка времени стандартного алгоритма УРОВ; DT3 – выдержка времени ускоренного алгоритма УРОВ

Устройства КПА-М производства ЗАО «ИАЭС», реализующие функции ускоренный УРОВ и ФТКЗ, позволяют организовать комплексный подход к выполнению поставленной

задачи. В некоторых случаях возможно совмещение устройств в одном шкафу.

Выполнение ускоренного УРОВ как отдельной автоматики на существующем объекте (где уже реализовано воздействие от УРОВ через цепи ДЗШ) на базе КПА-М, позволяет воздействовать на отключение смежных выключателей напрямую в цепи управления выключателей (помимо цепей ДЗШ), что способствует уменьшению суммарного времени отключения КЗ.

Ускоренный УРОВ является эффективным средством сохранения динамической устойчивости, позволяет достигать большого экономического эффекта в части увеличения выдачи мощности объектами генерации. Однако для его использования в качестве управляющего воздействия ПА необходимо определить область его применения, то есть оценить эффективность (как техническую, так и экономическую), вероятность ложной работы (оценить риски связанные с ущербом от ложной работы) и возможность технической реализации. Наиболее эффективно применение ускоренного УРОВ для станций 110-220 кВ, что обусловлено более тяжелыми расчетными режимами согласно требований [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические указания по устойчивости энергосистем: утв. приказом Минэнерго России от 30.06.2003 г. №277.

2 Руководящие указания по релейной защите. Устройство резервирования при отказе выключателей 35-500 кВ. -М.: Энергия, 1966. -48 с.

3 Устройство резервирования при отказе выключателя (УРОВ) в сетях 110-220 кВ. -М.: Энергоатомиздат, 1988. -88 с.: ил.

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: устройство резервирования отказов выключателей, ускоренное действие, динамическая устойчивость

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Стручкова Наталья Сергеевна, инженер ЗАО «ИАЭС»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630132, г.Новосибирск, ул.Железнодорожная, 12/1, ЗАО «ИАЭС»

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЯХ В ГОРОДСКОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ

ООО «Болид»

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

А.В. Телегин, А.И. Ширковец, В.А. Сенченко, В.С. Кириченко, Ю.М. Денчик

INVESTIGATIONS OF TRANSIENT PROCESSES AT ABNORMAL EVENTS IN URBAN ELECTRICAL NETWORK USING HIGH-FREQUENCY RECORDING SYSTEM

BOLID

Novosibirsk state academy of water transport
A.V. Telegin, A.I. Shirkovets, V.A. Senchenko, V.S. Kirichenko, Ju.M. Denchik

The results of development and trial operation of a new system for high-frequency recording of transient processes at abnormal events (i.e. faults) in the 10 kV urban cable network. The recording system is used for monitoring and oscillography of transient processes at circuit breaker switchings, various single phase-to-ground faults and short circuits, lightning strikes, and so on. Key features of the developed recording system are high sampling rate (up to 50 kHz) and on-line data transmission. This paper shows and analyzes real oscilograms recorded during trial operation in the 10 kV urban cable network.

Keywords: transient processes, emergency events, recording system, overvoltages, sampling rate, single-phase ground fault

Представлены результаты разработки и опытной эксплуатации новой высокочастотной системы регистрации переходных процессов и аварийных событий в городской кабельной сети 10 кВ. Система регистрации предназначена для мониторинга и осциллографирования процессов при коммутациях, любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, грозовых повреждениях. Отличительными чертами разработанной системы являются высокая частота дискретизации (до 50 кГц), а также передача данных в режиме реального времени. В статье приводятся и анализируются характерные осцилограммы аварийных событий, зарегистрированных в процессе опытной эксплуатации в городской кабельной сети 10 кВ.

На распределительных подстанциях имеется большое количество устройств релейной защиты и противоаварийной автоматики, защитных аппаратов (ОПН, RC-цепи) и устройств

заземления нейтрали, требующих периодического контроля правильности и эффективности их эксплуатации. Важной задачей в электрических сетях является полноценный анализ аварийных событий. Исследование переходных процессов, происходящих в воздушных и кабельных сетях, позволяет предупреждать выход из строя силовых кабелей при выявлении предпробойных состояний кабелей, оценивать реальный уровень перенапряжений и определять временные параметры аварийных событий.

Для указанных целей могут быть использованы специальные системы регистрации переходных процессов и аварийных событий, которые позволяют осуществлять мониторинг переходных процессов в электрических сетях 6-110 кВ. Использование таких систем позволяет повысить надежность электроснабжения потребителей за счет контроля параметров сети в режиме реального времени и планирование ремонтов по техническому состоянию.

Современные трансформаторы напряжения, используемые для получения первичных сигналов напряжения в электрических сетях 6-110 кВ, обычно не поверяются в эксплуатации, а их частотные характеристики не нормируются. Они имеют малую полосу пропускания по частоте: хотя верхняя граница пропускаемых частот, при которых коэффициент трансформации еще постоянен, у трансформаторов типа НТМИ, НОМ и ЗНОМ не превышает 3-5 кГц [1], она не гарантируется производителем. С другой стороны, расчетно-экспериментальные оценки частотных характеристик защитной обмотки НОМ-6 [2] показывают, что погрешность таких ТН на частоте 2 кГц по напряжению достигает 20%, а по углу минус 30 градусов, что не соответствует требованиям точности измерений высокочастотных сигналов. В то же время, существующие системы регистрации аварийных событий обладают малой частотой дискретизации АЦП. Между тем, частоты реальных переходных процессов, протекающих при однофазных замыканиях на землю (ОЗЗ), коротких замыканиях (КЗ) и грозовых повреждениях, могут достигать от сотен герц до единиц мегагерц [3, 4]. Это означает, что корректная запись аварийных осциллограмм с помощью стандартных регистраторов в ряде случаев не может быть обеспечена. Возникает необходимость разработки новой цифровой высокочастотной системы регистрации аварийных событий для электрических сетей 6-110 кВ.

Особенности реализации системы регистрации переходных процессов. Разработанная система регистрации переходных процессов и аварийных событий для электрической сети 10 кВ предназначена для мониторинга и осциллографирования высокочастотных процессов при коммутациях, любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, грозовых повреждениях.

Система регистрации состоит из центрального блока, где осуществляется сбор и хранение информации, и подключенных к нему от 3 до 12 измерительных модулей.

В качестве датчиков фазных напряжений используются температурно-независимые емкостные делители напряжения (ДН), поставляемые в составе регистраторов, имеющие диапазон рабочих частот от 25 Гц до 85 кГц при постоянном коэффициенте преобразования 4250 во всем диапазоне рабочих частот с относительной точностью преобразования пер-

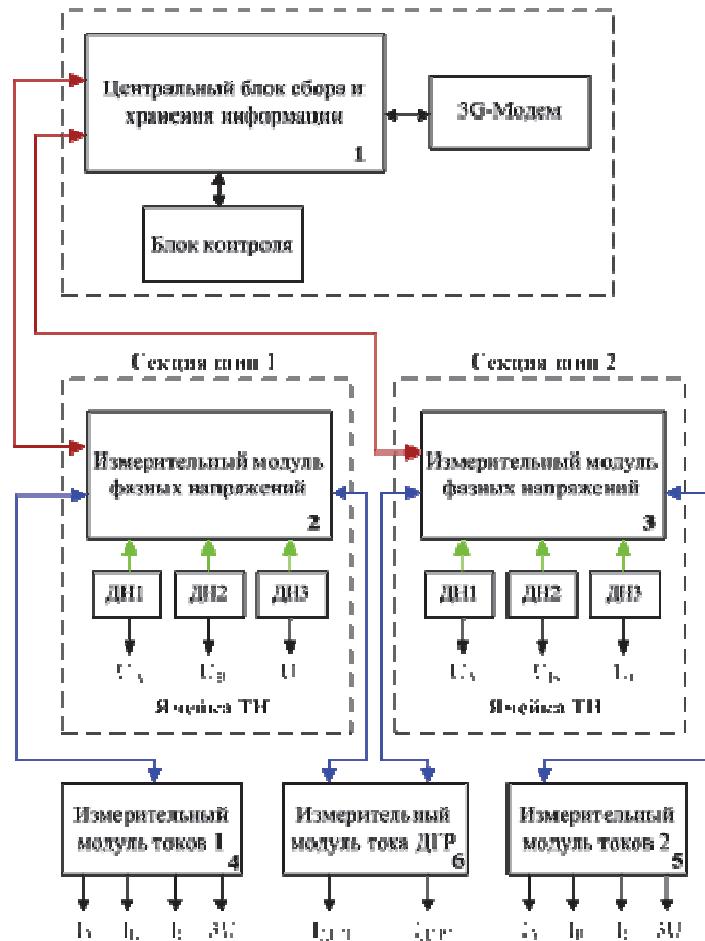


Рисунок 1 – Структурная схема системы регистрации переходных процессов

вичного сигнала +1,5%.

В качестве первичных датчиков тока используются штатные трансформаторы тока во вводных ячейках секций 10 кВ, измерительная обмотка которых подключается только к цепям регистраторов. Для регистрации сигнала $3U_0$ задействованы вторичные обмотки со схемой «разомкнутый треугольник» шинных трансформаторов напряжения (ТН). Для регистрации сигналов токов дугогасящих реакторов (ДГР) используются трансформаторы тока, установленные в их цепи заземления.

Структурная схема системы регистрации переходных процессов представлена на рисунке 1.

С помощью измерительных модулей производится регистрация фазных напряжений, фазных токов на вводах подстанций, напряжения несимметрии, тока ДГР.

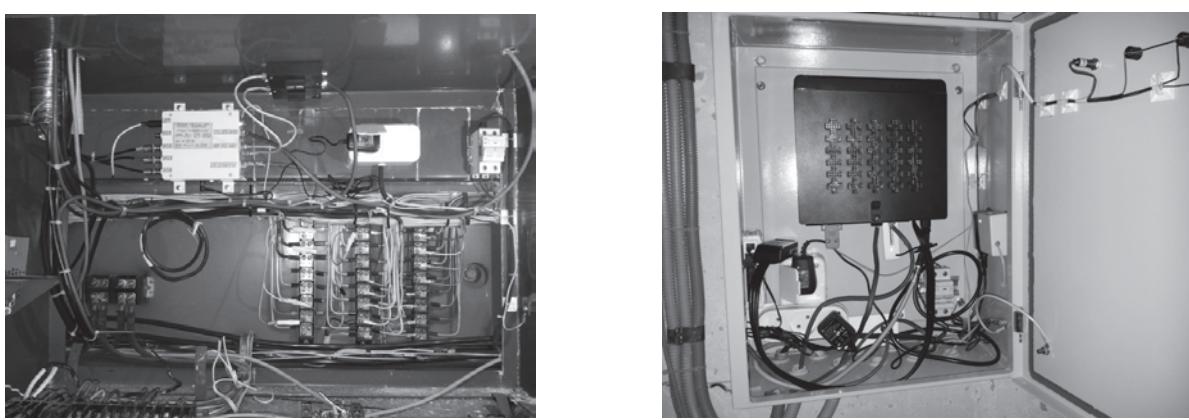
Аналоговые сигналы с ДН преобразуются в цифровую форму в измерительных модулях фазных напряжений (позиция 2 и 3 на рисунке 1) с частотой дискретизации 125 кГц и передаются в центральный блок сбора и хранения информации (позиция 1 на рисунке 1).

Аналоговые сигналы фазных токов с вторичных обмоток измерительных трансформаторов тока, напряжения $3U_0$ с вторичных обмоток со схемой «разомкнутый треугольник» шинных ТН и токов ДГР с вторичных обмоток их измерительных трансформаторов тока преобразуются в цифровую форму в измерительных модулях токов (позиция 4 и 5 на рисунке 1) и модуле тока ДГР (позиция 6 на рисунке 1) с частотой дискретизации 5 кГц и передаются в измерительные модули фазных напряжений.

Информация о результатах измерений токов и напряжений в бинарном виде объединяется в измерительном модуле фазных напряжений и в реальном масштабе времени по каналу Ethernet 100 Mb передаётся на центральный блок сбора и хранения информации.

Центральный блок построен на базе IBM PC (Intel D2500CC) под управлением операционной системы Linux. Каждый из измерительных модулей выполнен на базе 32-разрядных микроконтроллеров серии ARM® Cortex™ и имеет своё оригинальное программное обеспечение.

Центральный блок сбора и хранения информации вместе с коммутатором, 3G-модемом и модулем индикации размещаются в металлическом боксе. Внешний вид измерительного модуля напряжения и центрального блока системы регистрации представлен на рисунке 2.



а)

б)

Рисунок 2 – Внешний вид измерительного модуля напряжения в релейном отсеке высоковольтной ячейки (а) и центрального блока системы регистрации (б)

Напряжения и токи на высоковольтных линиях постоянно отслеживаются, и при выполнении заданных условий запуска производится запись данных в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ), представляющее собой жесткий диск. В измерительных модулях напряжения в режиме реального времени анализируется входной поток данных и производится постоянная предварительная запись глубиной от 0,1 до 1,0 с в оперативное запоминающее устройство.

Исследование переходных процессов при аварийных событиях в городской кабельной сети. В августе 2012 г. высокочастотная система регистрации была введена в опытную эксплуатацию на две крупные питающие подстанции города Архангельска. Одна из подстанций (далее – подстанция «А») эксплуатируется с заземлением нейтрали каждой из двух секций

шин 10 кВ через дугогасящие реакторы, другая подстанция (далее – подстанция «Б») эксплуатируется в режиме изолированной нейтрали.

Кабельные сети подстанций «А» и «Б» построены на основе кабелей с бумажно-масляной пропитанной изоляцией (БМПИ), находящихся в эксплуатации с 1970-1980-х гг. Суммарная протяженность кабельных сетей для подстанции «А» составляет около 100 км, для подстанции «Б» – около 60 км.

За время опытной эксплуатации системы регистрации было зарегистрировано большое количество аварийных событий. Результаты опытной эксплуатации системы регистрации для подстанций «А» (с 14.08.2012 г.) и «Б» (с 19.11.2012 г.) в сети 10 кВ по состоянию на август 2014 г. приведены в таблице, где обозначено:

- 1ф – количество дуговых ОЗЗ, самоустранившихся либо выявленных и принудительно отключенных с предварительным переводом на резерв;
- 1ф-КЗ – количество переходов дуговых ОЗЗ в междуфазные КЗ с аварийным отключением присоединений;
- КЗ – количество междуфазных КЗ, без предшествующего ОЗЗ.

Таблица – Результаты опытной эксплуатации высокочастотной системы регистрации в сети 10 кВ на эксплуатируемых подстанциях г. Архангельска

Наименование подстанции / вид аварийного события	1ф	1ф-КЗ	КЗ	Всего
Подстанция «А»	93 (66,9%)	30 (21,6%)	16 (11,5%)	139 (100%)
Подстанция «Б»	41 (67,2%)	16 (26,2%)	4 (6,6%)	61 (100%)

Среди зарегистрированных аварийных событий было выявлено большое количество осцилограмм переходных процессов, представляющих научный и практический интерес.

На рисунке 3 представлена осциллограмма однофазного замыкания на землю продолжительностью 0,22 с с переходом в двухфазное КЗ продолжительностью 0,07 с и с дальнейшим переходом в трехфазное КЗ продолжительностью 0,83 с, зафиксированное одновременно на двух секциях подстанции «Б» (рисунок 4: а – секция 1, б – секция 2). Запись файлов одновременно с двух секций объясняется тем, что был включен межсекционный выключатель, на котором произошло перекрытие изоляции. Перед отключением трехфазного КЗ наблюдается сброс нагрузки с увеличением фазных напряжений приблизительно в 2 раза. На второй секции шин подстанции «Б» наблюдаются высокие уровни перенапряжений: при однофазном замыкании на землю $K_u = 23,61$ кВ/7,66 кВ=3,08 о.е. (фаза В), при переходе ОЗЗ в двухфазное КЗ $K_u = 28,33$ кВ/7,66 кВ=3,70 о.е. (фаза В) при 1-м пробое и $K_u = 27,49$ кВ/7,66 кВ =3,59 о.е. (фаза В) при 2-м пробое.

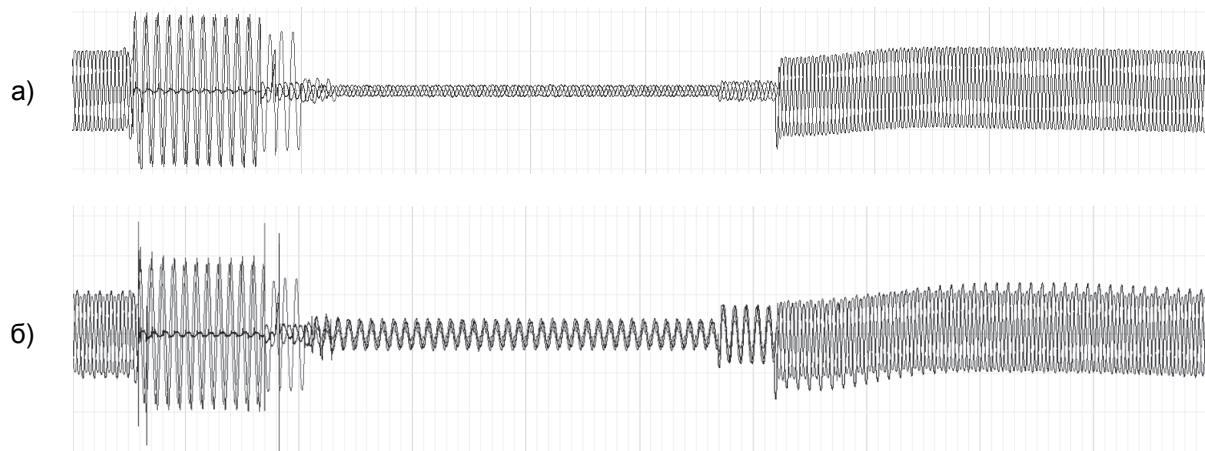


Рисунок 4 – Однофазное замыкание на землю с переходом в двухфазное КЗ и трехфазное КЗ, зафиксированное на секциях шин 10 кВ подстанции «Б»: а-секция 1; б-секция 2

На рисунке 5 представлен фрагмент неустойчивого трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ подстанции «А». Продолжительность первого этапа трехфазного КЗ составила 0,26 с. Затем напряжение восстанавливалось 0,1 с с несколькими пробоями и попыткой перехода в двухфазное КЗ, затем произошло еще одно трехфазное КЗ, которое длилось 0,16 с. После его устранения напряжение восстанавливалось в течение 0,05 с, когда про-

изошло еще одно трехфазное КЗ, которое практически тут же перешло в однофазное дуговое замыкание на фазе А. По истечении 0,22 с однофазное дуговое замыкание перешло в трехфазное КЗ, которое существовало 0,86 с и было отключено.

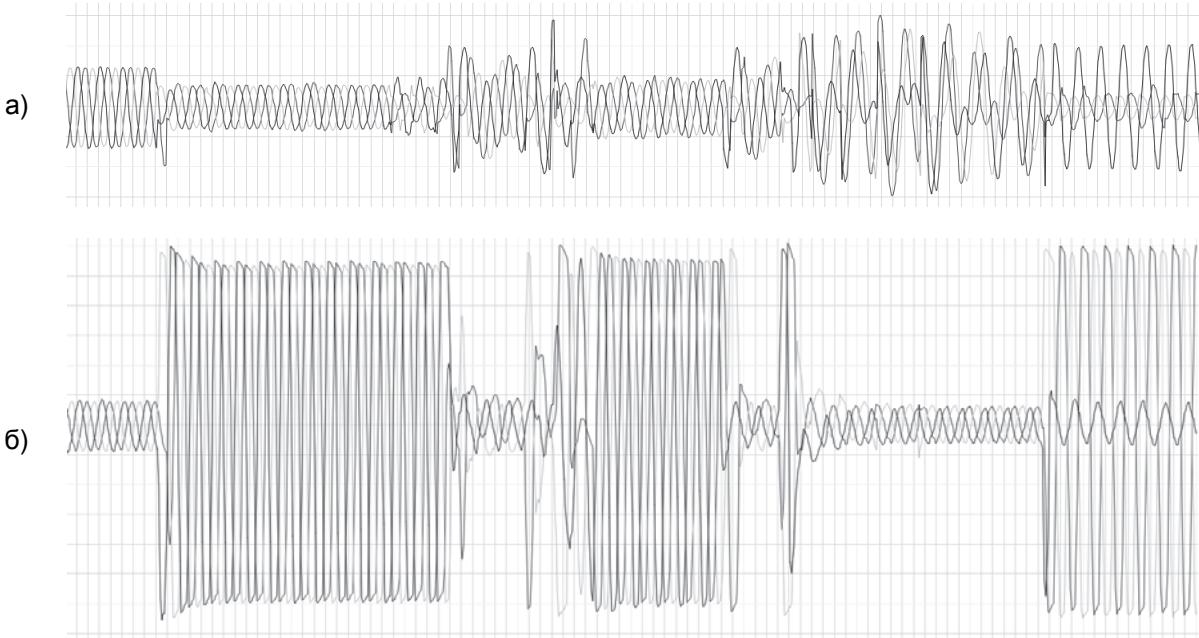


Рисунок 5 – Фрагмент неустойчивого трехфазного короткого замыкания в сети 10 кВ подстанции «А»: а) фазные напряжения; б) фазные токи

Анализ представленных результатов опытной эксплуатации (таблица 1) показывает, что в кабельной сети 10 кВ подстанции «А» с компенсацией емкостных токов количество аварийных событий (139 событий) существенно больше и их последствия, выражаемые в количестве аварийно отключенных присоединений (46 событий), тяжелее, чем в сети без компенсации на подстанции «Б» (61 и 20 событий соответственно). Это свидетельствует о низкой эффективности существующей системы компенсации на подстанции «А» и необходимости оптимизации режима заземления нейтрали. Для подстанции «Б» необходимо проанализировать основные причины повреждений и обеспечить планомерную работу по модернизации кабельных линий.

Заключение. Разработанная высокочастотная система регистрации переходных процессов для электрических сетей 6-110 кВ позволяет решать широкий круг задач:

– Мониторинг и регистрация высокочастотных переходных процессов при любых видах однофазных замыканий на землю и коротких замыканий, а также при грозовых и коммутационных воздействиях.

– Количественная оценка истинного уровня перенапряжений, действующих на электротехническое оборудование в сетях 6-110 кВ в переходных и установившихся режимах.

– Проверка эффективности существующих устройств защиты от высокочастотных перенапряжений (в том числе оборудования для заземления нейтрали) и определение мер по повышению надежности эксплуатации электрооборудования при воздействии импульсов перенапряжений.

– Проверка правильности функционирования устройств релейной защиты и настройки приводов силовых выключателей на основе автоматического анализа длительности и последовательности отключений КЗ.

– Выявление предпробойных состояний высоковольтных кабелей, «проблемных» узлов сети и планирование ремонтной программы.

Ключевыми особенностями разработанной системы регистрации является высокая частота дискретизация при записи аварийных событий, что позволяет с большой степенью точности и высокой достоверностью осциллографировать переходные и установившиеся процессы, а также передача данных об аварийных событиях в режиме реального времени.

В дальнейшем планируется разработка и внедрение модуля определения точного места повреждения, а также модуля автоматического определения видов возмущений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

- 1 Перенапряжения в сетях 6-35 кВ / Ф.А. Гиндуллин, В.Г. Гольдштейн, А.А. Дульзон, Ф.Х. Халилов. -М.: Энергоатомиздат, 1989. -192 с.
- 2 Булычев, А.В. Частотные характеристики трансформаторов напряжения для защиты генераторов / А.В. Булычев, В.К. Ванин // Энергетика. -1987. -№11.
- 3 Лихачев, Ф.А. Замыкания на землю в сетях с изолированной нейтралью и с компенсацией емкостных токов / Ф.А. Лихачев. -М.: Энергия, 1971. -152 с.
- 4 Oscillography of Transient Processes at Physical Phase-to-ground Fault Modeling in Operational 6-35 kV Networks / A. Shirkovets, A. Vasilyeva, A. Telegin, L. Sarin, M. Ilinykh // In electronic Proceedings 3rd International Youth Conference of Energetics (IYCE 2011, Leiria, Portugal, July 7-9, 2011).

По материалам конференции «ЭНЕРГОСИСТЕМА: Исследование свойств, Управление, Автоматизация» (30 сентября-2 октября 2014 года, г. Новосибирск). Организаторы Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт по проектированию энергетических систем и электрических сетей «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (ОАО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ», г. Москва) и Институт автоматизации энергетических систем (ЗАО «ИАЭС», г. Новосибирск).

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: переходные процессы, аварийные события, система регистрации, перенапряжения, частота дискретизации, однофазное замыкание на землю

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Телегин Андрей Владимирович, аспирант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Ширковец Андрей Игоревич, канд. техн. наук, начальник отдела ООО «Болид»
Сенченко Владимир Алексеевич, начальник отдела ООО «Болид»
Кириченко Валерий Степанович, ведущий инженер ООО «Болид»
Денчик Юлия Михайловна, канд. техн. наук, докторант ФГБОУ ВО «НГАВТ»
630015, г.Новосибирск, ул.Электрозваводская-2, кор.6, ООО «Болид»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС:

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ ОБЪЕКТОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ С СУРОВЫМ КЛИМАТОМ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

ФГБОУ ВПО «Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет»

Г.Р. Манчук, С.В. Горелов, В.П. Горелов

ENERGY SUPPLY FUTURE AGRICULTURAL AND INDUSTRIAL FACILITIES IN REMOTE AREAS WITH HARSH CLIMATES

Novosibirsk state academy of water transport

Novosibirsk state university of architecture and civil engineering

G.R. Manchuk, S.V. Gorelov, V.P. Gorelov

Electrification of agricultural, municipal and industrial facilities in remote areas and areas with harsh climates constrained by the complexity of the construction of generating stations. The prospects of the use of mini-hydro and floating nuclear power plants.

Keywords: energy saving, agricultural facilities, generate the station, mini-hydro, floating nuclear power plants

Электрификация сельскохозяйственных, коммунально-бытовых и промышленных объектов в отдаленных регионах и районах с суровым климатом сдерживается сложностью строительства генерирующих станций. Анализируются перспективы применения мини-ГЭС и плавучих атомных теплоэлектростанций.

Основой технического прогресса в сельском хозяйстве, промышленности и других отраслях служат наличие и доступность энергоресурсов. Мировое потребление энергоресурсов в настоящее время составляет около 8 млрд. т нефтяного эквивалента в год и, при сохранении современных темпов, к середине столетия может достичь 35-50 млрд. т в год [1-3].

Основными видами топлива, которые покрывают большую часть прироста потребления энергии в настоящее время и обозримом будущем являются невозобновляемые ресурсы органического топлива – газ, нефть и уголь. Незначительная часть энергопотребления обеспечивается за счёт возобновляемых и нетрадиционных источников энергии (ВНИЭ), что позитивно сказывается на экологии и занятости населения в сельской местности [4-6].

Важными потребителями теплоэнергии являются агропромышленные комплексы и сами гидротехнические сооружения. Принцип, положенный в основу государственных приоритетных национальных проектов и всего «Плана Путина» – поддержка национального сельскохозяйственного производителя, ставит повышенные задачи в области теплоэнергоснабжения объектов в сельской местности, и прежде всего в отдалённых и труднодоступных районах севера и востока страны. Увеличение количества разведанных полезных ископаемых, расширение добычи на нефтегазовых месторождениях в северных районах Азиатской и Ев-

ропейской части России также требуют обеспечения надёжного энергоснабжения.

Эксплуатация замкнутых электрических сетей от 0,4 до 35 кВ подобных энергопотребителей по сравнению с питающимися от удалённых электроэнергетических систем (ЭЭС) сетями 110 кВ и выше связана с особенностями технологических процессов и разнообразным воздействием окружающей среды. Поэтому необходимо учитывать особенности электротеплоснабжения, такие как:

- высокие требования к бесперебойности электротеплоснабжения из-за суровых климатических условий и значительной протяжённости линий электропередачи;

- увеличенные финансовые затраты на содержание производственной и социальной инфраструктуры.

Отдалённость энергопотребителей вызывает необходимость применения возобновляемых и нетрадиционных местных источников энергии (ВНИЭ) для повышения качества и надёжности энергообеспечения и снижения его себестоимости (рисунок 1) [5-7].

Следует отметить, что бесперебойное и качественное снабжение теплоэлектроэнергией от отдельных возобновляемых источников бывает неэффективным из-за непостоянства потоков энергии, в связи с чем требуется применять аккумуляторы энергии (электромеханические, индуктивные, молекулярные, электрохимические и др.). В этих условиях целесообразно использовать комбинированные схемы электротепло-снабжения (рисунок 2) [5-6].

Большинство выше приведённых энергетических устройств имеют активную нагрузку в виде металлических или композиционных резисторов. Для их изготовления часто применяют резистивные композиционные материалы на основе силикатных, полимерных, фосфатных связок или оксидно-цинковой керамики (таблица 1) [5-6, 9].



Рисунок 1 – Составные элементы нетрадиционной энергетики

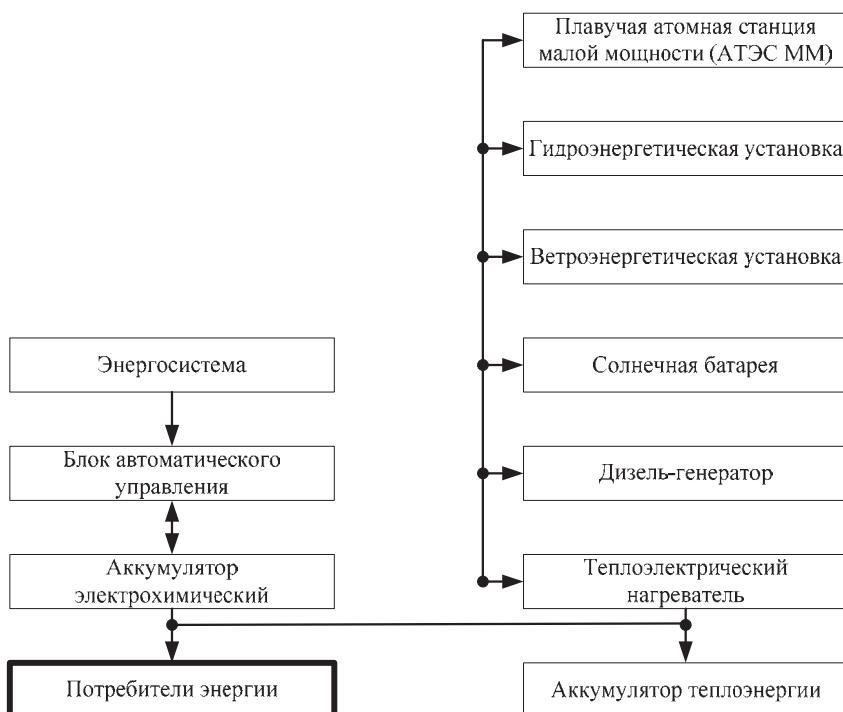


Рисунок 2 – Блок-схема комбинированного электротепло-снабжения потребителей

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

Таблица 1 – Основные параметры резистивных композиционных материалов российских и зарубежных производителей

Показатель	Бетэл	Тирит, виллит	ЛКС	Morganite	ЭКОМ
Удельная теплоёмкость, кДж/(кг·К)·10 ⁻³	0,9-0,96	0,63-0,75	0,98	0,63-1,25	0,8-0,95
Теплоёмкость, Вт/(м·К)	0,52-2,9	0,084-4,2	3,8	0,65-4,19	1,5-5
Разрушающее напряжение, МПа	10-40	40-50	50	50	35-50
Плотность, кг/м ³ (10 ⁻³)	1,6-2,2	2,0-2,4	2,5	2,0-2,5	2,7-2,8
Допустимая температура кратковременного (до 3 с) перегрева, К	433	493	523	523	900
Удельное сопротивление, Ом·м (-10 ⁻⁴)	1-5	1-10	5-50	4-25	2-45
Допустимая напряжённость электрического поля (при 50 Гц), В/м (-10 ⁻⁴)	2-10	8-10	3-10	2,4-20	<20
Допустимая плотность тока (при 50 Гц), А/м ² (-10 ⁻⁴)	0,01-100	0,1-100	–	–	0,9-100
Коэффициент нелинейности	0,65-0,98	0,15-0,35	0,75-0,98	0,80-0,98	0,95-0,99
Коэффициент напряжения, %	5-10	–	10-50	10-60	0,2-5,0
Удельная энергия рассеяния (при 50 Гц), Дж/м ³ (-10 ⁶)	150	150	140	160	<700
Температурный коэффициент сопротивления, К (-10 ⁻⁴)	-(7-30)	-(20-35)	–	-(10-15)	-(5-10)

Сравнение технико-экономических показателей использования углеводородных ресурсов и ядерного топлива для производства электроэнергии позволяет сделать выбор в пользу плавучих атомных теплоэлектростанций (ПАТЭС) мощностью от 50 до 100 МВт. Особенно эффективны ПАТЭС в энергообеспечении нефтегазодобывающих, перерабатывающих комплексов и различных объектов сельской местности [8-12].

Согласно Российскому проекту [11], плавучая атомная станция малой мощности (ПАТЭС ММ) состоит из гладкопалубного несамоходного судна с двумя реакторными установками КЛТ-40С ледокольного типа, разработанными ОАО «ОКБМ им. Африканова». Длина судна – 144 м, ширина – 30 м, водоизмещение – 21 500 т.

Плавучая станция может использоваться для получения электрической и тепловой энергии, а также для орошения морской воды. В сутки она может выдать от 40 до 240 тысяч т пресной воды. Установленная электрическая мощность каждого реактора – 35 МВт, тепловая мощность – 140 Гкал/ч. Срок эксплуатации станции составит минимум 36 лет: три цикла по 12 лет, между которыми необходимо осуществлять перегрузку активных зон реакторных установок.

По выполненным проектным работам в состав комплекса атомной теплоэлектростанции малой мощности (АТЭС ММ) входят: плавучий энергоблок (ПЭБ) с двумя реакторными установками КЛТ-40С, гидротехнические сооружения, береговая площадка, на которой располагаются вспомогательные здания и сооружения станции (таблица 2) [11-12]. Этот проект намного безопаснее для экологии, чем сжигание мазута, нефти, газа или угля [10].

Таблица 2 – Основные характеристики атомной теплоэлектростанции малой мощности

Наименование	Параметры
Максимальная электрическая мощность в конденсационном режиме, МВт	2×38,5
Максимальная мощность для теплофикации, Гкал/ч	2×73
Собственное электропотребление, МВт	4-6
Собственное теплопотребление, МВт	3,2
Площадь береговой территории, га	0,8-1,5
Площадь акватории, га	3-6

На месте установки ПАТЭС возводятся причальные гидротехнические сооружения и береговые устройства для приёма и передачи электроэнергии и горячей воды (при необходимости).

Гидротехнические сооружения предназначены для надёжного закрепления плавучего энергоблока (ПЭБ). В стоимость гидротехнических и береговых сооружений входят:

- сооружения оградительного мола – причала;
- строительство здания теплопункта;
- строительство закрытых очистных сооружений;

- здание закрытого распределительного устройства (ЗРУ – 10 кВ);
- открытая установка трёх трансформаторов 10/110 кВ;
- АСУ ТП береговой площадки;
- физическая защита сооружений ПАТЭС;
- сооружение линий электропередачи (ЛЭП 110 кВ) [8, 11].

На борту одной ПАТЭС – две независимые ядерные энергетические установки с электрической мощностью по 35 МВт. Росатом подписал соглашение о строительстве четырёх плавучих АТЭС с правительством Якутии. Первая в мире ПАТЭС будет сдана в эксплуатацию в сентябре 2016 года.

Интерес к плавучим АЭС высказывают многие страны. Их, после того как пилотная станция пройдет проверку на прочность, готовы купить Китай, Япония, Индонезия и т.д. В России, по мнению учёных, ПАЭС будут востребованы на Чукотке и Сахалине, а также в других регионах Крайнего Севера и Дальнего Востока.

Одновременно с развитием крупной энергетики возник интерес к малой гидроэнергетике, главным образом к использованию её в труднодоступных и малонаселённых районах, куда очень дороги ввоз топлива и устройство ответвлений от высоковольтных линий электропередачи [7].

В связи с этим в России разработаны основные направления малой гидроэнергетики на ближайшие 20 лет:

- восстановление на современном техническом уровне ранее остановленных малых ГЭС;
- строительство новых малых ГЭС, особенно в труднодоступных районах, где нет централизованного энергоснабжения;
- использование малых ГЭС путём пристройки их к крупным гидроооружениям неэлектрического назначения.

Последний пункт перечисленных направлений может иметь значение для речного флота в рамках электроснабжения дебаркадеров, брандвахт, береговых знаков судовой обстановки и др., поскольку в районах судоходных рек может отсутствовать возможность централизованного электроснабжения [4-5, 7].

Гидроэлектрические станции малой мощности подразделяются на мини-ГЭС с мощностью одного агрегата от 100 кВт до 10 МВт и микро-ГЭС, имеющие гидроагрегаты единичной мощностью до 100 кВт. Установленная мощность мини-ГЭС – до 30 МВт. По виду гидропостроек мини-ГЭС могут быть приплотинные (с совмещением плотины и здания ГЭС) и бесплотинные (с трубопроводом напорной деривации) [7].

Программой гидроэнергетического строительства намечается сооружение и ввод в действие в северных и восточных регионах страны значительного количества крупных ГЭС и мини-ГЭС, что позволит ежегодно экономить десятки миллионов тонн условного топлива [1-3].

Таким образом, мини-ГЭС и плавучие атомные теплоэлектростанции малой мощности имеют большие перспективы для энергообеспечения проектируемых и существующих сельских населённых пунктов и освоения месторождений полезных ископаемых в труднодоступных и отдалённых регионах Сибири и Дальнего Востока [5-6, 12].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Велихов, Е.П. Энергетика XXI века и роль России / Е.П. Велихов // Гидротехническое строительство. -2000. -№12. -С. 9-14.
- 2 Решение выездного совместного заседания НТС РАО «ЕЭС России» и Научного совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики по теме: «Проект Программы развития и концепции перевооружения гидроэнергетики России на период до 2015 года» // Гидротехническое строительство. -2001. -№1. -С. 6-15.
- 3 Асарин, А.Е. Развитие гидроэнергетики России / А.Е. Асарин // Гидротехническое строительство. -2001. -№1. -С. 2-7.
- 4 Манчук, Г.Р. Разработка резистивных композиционных материалов в России / Г.Р. Манчук, С.В. Горелов, П.В. Горелов, В.П. Прохоров // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2002. -№1. -С. 84-90.
- 5 Горелов, С.В. Резисторы в схемах электротеплоснабжения / С.В. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -2-е изд; перераб. и доп. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2008. -424 с.
- 6 Манчук, Г.Р. Стабилизация электрофизических параметров композитов для агропромышленных комплексов и электростанций / Г.Р. Манчук, С.В. Горелов [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2014. -№1-2. -С. 242-245.
- 7 Энергоснабжение стационарных и мобильных объектов: учеб.пособие: в 3 ч. / В.П. Горелов [и др.]; под ред. В.П. Горелова, Н.В. Цугленка. -Новосибирск: Новосиб. гос. акад. водн. трансп., 2007. Ч.II -348 с.; Ч.III -228 с.
- 8 Пат. 2188466 Российская Федерация, МПК7 G 21 C 1 / 00, G 21 C 9 / 00, B 63 B 35 / 44. Плавучая электростанция / Пялов В.Н., Замукин В.В. [и др.]; заявитель и патентообладатель Федерал. гос. унитар. предпр. «Санкт-Петербургское морское бюро машиностр. «Малахит». -№200101159/06; заявл. 11.01.2000; опубл. 27.08.2002. -11 с.
- 9 Автономные источники и преобразователи электрической энергии для потребителей северных регионов / С.В. Горелов [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2008. -№1. -С. 239-243.

ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА

10 Режим доступа: <http://www.Eprussia.ru/pressa/articles/1161.htm>. Опубликовано 01.08.2011.

11 Атомные теплоэлектростанции малой мощности на базе плавучего энергоблока с реакторными установками КЛТ-40С/ФГУП Концерн «Росэнергоатом» // Судостроение. -2007. -№3. -С. 23-25.

12 Перспективы применения плавучих атомных станций для энергоснабжения прибрежных нефтегазовых объектов России и Казахстана / В.П. Горелов [и др.] // Науч. пробл. трансп. Сиб. и Дал. Вост. -2011. -№2. -С. 244-247.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергосбережение, сельскохозяйственные объекты, генерирующие станции, мини-ГЭС, плавучие атомные теплоэлектростанции

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Манчук Глеб Русланович, ведущий инженер ФГБОУ ВПО «НГАСУ»
Горелов Сергей Валерьевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Горелов Валерий Павлович, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»
630008, г.Новосибирск, ул.Ленинградская, 113, ФГБОУ ВПО «НГАСУ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

РОЛЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИХ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.Г. Порсев

ROLE OF ELECTROTECHNOLOGY TO IMPROVE THE STABILITY OF AGROECOSYSTEMS. ENVIRONMENTAL SYSTEMS AND THEIR EVALUATION CRITERIA OF THE FUNCTION

Novosibirsk state academy of water transport
E.G. Porsev

The analysis of the criteria of environmental sustainability and energy efficiency agroproizvodstva from the standpoint of systems analysis. Proposed main criterion for the stability of agrobiocenosis consider maintaining the maximum possible efficiency for a given agrobiocenosis geophysical conditions without the accumulation of nekromass as a criterion for the stability of the growing distressnekromassu. The ratio of productivity and nekromass – a comprehensive stability criterion agrobiocenosis.

Keywords: electrotechnology, stability agrobiocenosis, an ecological catastrophe

Проведен анализ критериев экологической устойчивости и энергетической эффективности агропроизводства с позиций системного анализа. Предложено главным критерием устойчивости агробиоценоза считать сохранение максимально возможной продуктивности агробиоценоза для заданных геофизических условий без накопления некромассы, а критерием неблагополучия по устойчивости растущую некромассу. Соотношение производительности и некромассы – комплексный критерий устойчивости агробиоценоза.

Задача повышения экологической устойчивости и энергетической эффективности агропроизводства возникает в современную эпоху, характеризующуюся кажущимся исчерпанием резервов природы и агротехнологий (агроэкосистем) по обеспечению быстрорастущего народонаселения планеты продовольствием. Очевидно, что при традиционном – экспансивном подходе к этому вопросу добиться устойчивого роста численности человечества как вида и экологических систем, включающих человечество, без катастроф невозможно.

Под экологической системой понимается функциональная система, включающая в себя сообщества живых существ (растительных и животных) с их сложными и специфическими взаимоотношениями и среду обитания, с которой каждое живое существо взаимосвязано. Живыми существами или системами считаются открытые системы, «способные функционировать только за счёт свободной энергии, поступающей из внешней среды. Её непременным свойством является термодинамическое неравновесие» [1, 2]. Живые системы не отменяют законов неживой природы. Они включают их в себя, в диалектически снятом виде. Не отменяют живые системы и законов термодинамики, «однако в них эти законы действуют специфически, так сказать, преломляясь через призму закономерностей живого» [1]. Живые системы не только подчиняются законам термодинамики, но и адаптируются к этим законам» [3]. С другой стороны, по Опарину [4, 5], «любой организм и любая его клетка живут, существуют только тогда, когда через них непрерывным потоком из внешней среды и во внешнюю среду проносятся всё новые и новые частицы вещества и связанная с ними энергия». Главными характеристиками жизни являются:

- способность к преодолению нарастания энтропии;
- целесообразность организации живых объектов, то есть приспособленность внутримолекулярного и надмолекулярного строения частей (молекул, органоидов и органов) к выполняемым ими функциям и приспособленность целого организма к существованию в данных условиях внешней среды;
- специфическая для жизни форма информации – наследственность.

Таким образом, современной наукой проблема сведения, или, как принято говорить, «редукции» биологии к физике (на худой конец, к физике и химии) не решена. Ж.Б. Рабине в XVIII веке писал, что органическая жизнь является скрытой сущностью и неорганической природы. На современном уровне «помимо физических сущностей исследователи допускают к рассмотрению и самостоятельные, несводимые к физическим, биологические сущности – уровни организации (родоначальником классификации являлся Рене Декарт). Разными уровнями организации в живой природе считают: атомный, молекулярный (живая молекула,

протоплазма), клеточный, организменный (особь), популяционный (вид), крупных экосистем (биоценоз), биогеосфера в целом.

Каждый из уровней организации имеет неодинаковые признаки, существенные черты жизни, явления одного уровня принципиально отличаются от явлений других уровней и не могут быть к ним сведены. Причём по мере движения от низших уровней к высшим расширяется круг этих признаков, их набор пополняется, обогащается, достигнув предельной полноты только на уровне биосферы [1]. Однако на сегодняшний день наукой не решён ряд принципиальных вопросов:

- сколько существует уровней организации;
- почему уровни вообще возникают;
- как объяснить, что на более высоких уровнях возникают свойства, отсутствующие на более низких уровнях?

Возникновение этих вопросов, очевидно, связано с отсутствием у современной науки чёткого представления не только о биоценозах, но и о самой жизни. Наряду с вышеназванным определением Опарина [4, 5] есть и такое, которое говорит о том, что «живое вещество стабильно пребывает в состоянии устойчивого неравновесия вблизи критического (бифуркационного) состояния» [6].

В рамках данной работы есть смысл говорить не о принципах возникновения уровней организации жизни, а конкретно, об устойчивости уровней (экосистем) – сохранении ими своих свойств длительное время, это и будет основным критерием функционирования систем.

При такой постановке задачи, естественно, возникает вопрос об устойчивости экосистем и агроэкосистем, в том числе, с точки зрения системного анализа. Понятийный смысл термина «устойчивость» в классических науках меняется по мере усложнения (повышения уровня иерархии системы) объекта исследования. Так, в классической механике (при рассмотрении устойчивости движения простых тел) по А.М. Ляпунову: «устойчивость» – есть устойчивость по отношению к возмущениям начальных данных на бесконечном промежутке времени» [7]. Задача устойчивости сводится к исследованию устойчивости нулевого решения

$$x_1 = x_2 = \dots = x_k = 0, \quad (1)$$

где x_k – разность значений функций Q_k в любом возмущённом движении, для которого исследуется устойчивость по отношению к величинам Q_k .

Причём под критериями устойчивости, по А.М. Ляпунову, понимаются условия, при которых движение механической системы является устойчивым.

При рассмотрении более сложных объектов, представляющих собой совокупность простых тел, таких как газовые смеси, для «виртуальных отклонений от незаторможенного термодинамического равновесия» справедливо:

$$\begin{aligned} \delta S &\leq 0 \text{ при } \delta U = 0 \text{ и } \delta V = 0; \\ S &= S_{\max} \text{ при } U - \text{Const} \text{ и } 0 - \text{Const}. \end{aligned} \quad (2)$$

Это соотношение в термодинамике называется условием равновесия Гиббса. Очевидно, что под равновесием термодинамическим понимается устойчивость термодинамической системы. Вторым условием является:

$$\begin{aligned} \delta U &\geq 0 \text{ при } \delta S = 0, \delta V = 0; \\ U &= U_{\min} \text{ при } S = \text{Const}, V = \text{Const}, \end{aligned} \quad (3)$$

где S – энтропия;

V – объём;

U – внутренняя энергия системы.

Внутренняя энергия системы в состоянии равновесия имеет минимум. Это напоминает критерий устойчивости (минимум потенциальной энергии) в общей механике. Приведенные неравенства (2) и (3) являются в термодинамике критериями устойчивости.

Более сложными системами являются так называемые деформируемые системы. Один из наиболее употребительных критериев потери устойчивости: при каких условиях наряду с начальным состоянием равновесия возникают соседние, новые равновесные формы. Такой подход называется статическим. Другой критерий – энергетический, он характерен для деформируемых неживых систем и с некоторыми допущениями его можно использовать для оценки живых организмов [8]. При этом, «если энергия деформации окажется больше рабо-

ты внешних нагрузок, то, очевидно, система будет возвращаться к начальному положению равновесия, следовательно, это положение можно считать устойчивым» [9]. Напротив, условие неустойчивости состоит в том, что работа внешних сил превышает потенциальную энергию деформации. При безразличном равновесии приращение энергии деформации должно быть равно работе внешних сил. Если внешние силы являются консервативными, то есть если работа их зависит только от начального и конечного положений точек приложения, и не зависит от траекторий перемещения этих точек, то можно ввести понятия потенциала внешних сил и полной потенциальной энергии системы. Тогда данный критерий можно формулировать в применении к полной энергии системы, вернее, к её приращению при переходе от начального равновесного состояния к соседнему

$$P_s = \min, \quad (4)$$

где P_s – потенциальная энергия системы.

При дальнейшем повышении сложности систем, например, промышленных систем автоматического регулирования, возникает необходимость в более сложной критериальной оценке устойчивости. Связано это с тем, что такие искусственные системы испытывают возмущающие воздействия не только внешней среды, но и «внутреннего» регулятора. Как правило, для математического определения условий устойчивости системы предложен ряд упрощений при решении линейных дифференциальных уравнений процесса, которые «применительно к системам автоматического регулирования называются критериями» [10]. В теории автоматического регулирования применительно для различных видов систем используют ряд критериев: Рауса, Гурвица, Михайлова, Найквиста и др.

Очевидно, что при анализе экосистемы и агроэкосистемы имеют более высокий уровень организации и, соответственно, критерии устойчивости должны для них быть другими, по аналогии с классификацией уровней организации живого: на более высоких уровнях организации возникают критериальные отличия (свойства), отсутствующие на уровнях более низких. Для этого есть смысл обсудить подробнее рассматриваемый предмет.

Прежде всего, необходимо уточнить некоторые понятия. Если в классической экологии принято считать «устойчивость (по Бигону) – сохранение особенностей сообщества во времени» [11, 12, 13], или иначе «постоянство структуры вещественного состава и энергетического баланса на всех уровнях трофической иерархии экосистемы» [14], или по Камчадалову Е.П. [15] природно-антропогенное равновесие, по представлению [16] устойчивость – это прогноз, план на будущее, отсутствие катастроф, разрушений, то в данной работе предлагаются следующие понятия [17, 18]:

- Устойчивость – сохранение максимально возможной продуктивности сообщества для заданных геофизических условий без накопления некромассы.
- Экологическая катастрофа – гибель биогеоценоза при изменении внешних условий, то есть нарушение устойчивости.
- Локальная экологическая катастрофа – изменение продуктивности биогеоценоза с переводом части чистой первичной продукции (ЧПП) в некромассу при изменении внешних условий.
- Некромасса – биологическое вещество вне живых организмов.

Исходя из общебиологической закономерности биоэнергетической целенаправленности структур и функций живых систем, которые самопроизвольно в своём развитии стремятся к наиболее полному использованию свободной энергии [19], продуктивность биогеоценоза всегда стремится к максимуму для заданных внешних условий.

Стремление биосистем к максимуму, согласно принципу редукции, обусловлено, прежде всего, законами термодинамики. Термодинамика учит, что в системах подобных биосфере со временем сокращается производство энтропии. Смерть это и есть производство энтропии. Очевидно, что в прогрессирующей живой системе сокращается производство смерти (некромассы).

Кроме того, в природе работает простое термодинамическое правило, которое не учтывается нами при строительстве агробиоценозов: всякая система, в том числе человечество, развивается за счёт ресурсов окружающей её среды, постепенно разрушая эту среду. Основные принципы ресурсно-экологической идеологии:

- экономности (потенциальная конечность ресурсов и условий жизни человечества);
- принцип ведущей цели (сохранение среды, в которой образовался и может жить человек разумный);

ЭКОЛОГИЯ

- принцип вещественной замкнутости (за всё, что человек берёт, он платит собой);
- принцип перераспределения (система обладает внутренней энергией, включая физические поля, веществом, информацией и динамическими качествами, связанными между собой настолько, что любое изменение одного из этих показателей вызывает в других или в том же, но в ином месте или в другое время перемены, сохраняющие общие показатели системы);
- принцип единства живого вещества (вредное для одной части живого вещества не может быть полезным для других его частей, а в рамках глобальной экосистемы это ещё и хиральная чистота биологического вещества);
- принцип эквивалентности энергии, затраченной на фотосинтез и производство живого вещества, природной – возобновляющейся всех видов, и антропогенной, в том числе механической, электромеханической и электротепловой при использовании электротехнологий.

К настоящему времени в проблеме моделирования экосистем сложилась достаточно любопытная ситуация: существует и всё время растёт огромное число различных моделей, использующих самый различный математический аппарат, «причём выбор аппарата определяется, в основном, личными вкусами и пристрастиями авторов» [20]. Проблема эксплуатации экосистем приводит к ряду интересных задач оптимизации [14], обладающих своей спецификой. Но необходимо отметить, что требования максимальной продуктивности экосистемы или сообщества и требования максимальной устойчивости зачастую противоположны [20].

Таким образом, при первом взгляде на проблему устойчивости живых систем возникает необходимость в критериальной оценке не систем, а их устойчивости. Из нового определения устойчивости следует, что основным критерием устойчивости является предельно растущая продуктивность для заданных геофизических условий, а критерием неблагополучия по устойчивости является растущая некромасса. Отсюда соотношение продуктивности и некромассы и есть комплексный критерий устойчивости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Афанасьев, В.Г. Мир живого: системность, эволюция и управление / В.Г. Афанасьев. -М.: Изд-во полит. лит., 1986. -331 с.
- 2 Бауэр, Э.С. Теоретическая биология / Э.С. Бауэр. -М.; Л., 1935.
- 3 Хильми, Г.Ф. Современное состояние научных концепций биосферы / Г.Ф. Хильми // Методологические аспекты исследования биосферы. -М., 1975. -С. 91-100.
- 4 Опарин, А.И. Возникновение жизни на земле / А.И. Опарин. -М., 1957. -307 с.
- 5 Опарин, А.И. О сущности жизни / А.И. Опарин // Вопр. философии. -1979. -№4. -С. 43.
- 6 Шугрин, С.М. Космическая организованность биосферы и ноосфера / С.М. Шугрин. -Новосибирск: Наука, 1999. -496 с.
- 7 Ляпунов, А.М. Общая задача об устойчивости движения / А.М. Ляпунов. -М.: Наука, 1948. -540 с.
- 8 Порсев, Е.Г. Теоретические предпосылки разработки продуктов специального назначения / Е.Г. Порсев // Пища, экология, качество: сб. материалов междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, Сиб. отд-ние, СибНИПТИП. -Новосибирск, 2001. -С. 9-15.
- 9 Вольмир, А.С. Устойчивость деформируемых систем / А.С. Вольмир. -М.: Наука, 1967. -984 с.
- 10 Бородин, И.Ф. Основы автоматики / И.Ф. Бородин. -М.: Колос, 1970. -327 с.
- 11 Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества. В 2 т. Т.1 / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. -М.: Мир, 1989. -667 с.
- 12 Реймерс, Н.Ф. Природопользование: слов.-справ. / Н.Ф. Реймерс. -М.: Мысль, 1990. -637 с.
- 13 Реймерс, Н.Ф. Экология (теории, законы, правила, принципы и гипотезы) / Н.Ф. Реймерс. -М.: Россия молодая, 1994. -368 с.
- 14 Исследование устойчивости экосистемы тропических районов океана на основе ее математической модели / М.Е. Виноградов, Э.А. Шушкина, В.Ф. Крапивин, И. Кукина // Экспериментальное и математическое моделирование искусственных и природных экосистем: тез. III Всесоюз. совещ. по упр. биосинтезу и биофизике популяций. -Красноярск, 1973. -С. 76-77.
- 15 Камчадалов, Е.П. Стратегические основы экологически устойчивого развития. Машинное земледелие / Е.П. Камчадалов; ДальнНИПТИНЭСХ, АЗ МЭОО «Эволюция». -Благовещенск, 1997. -148 с.
- 16 Мир, Г. Опыт преодоления кризисов жизни. Кн. 1, 2. / Г. Мир. -М.: РОСАД, 1996. -464 с.
- 17 Порсев, Е.Г. Электрокинетика как фактор повышения энергетической эффективности и экологической устойчивости агропроизводства / Е.Г. Порсев // Проблемы стабилизации и развития сельскохозяйственного производства Сибири, Монголии и Казахстана в XXI веке: материалы Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, Сиб. отд-ние. -Новосибирск, 1999. -С. 100-102.
- 18 Порсев, Е.Г. Экологические системы и критерии оценки их функционирования / Е.Г. Порсев // Проблемы стабилизации и развития сельского хозяйства Казахстана, Сибири и Монголии: материалы 3-й Междунар. науч.-практ. конф. / РАСХН, Сиб. отд-ние. -Новосибирск, 2000. -С. 247-248.
- 19 Свентицкий, И.И. Системный анализ потоков энергии в агроценозах: метод. рекомендации / И.И. Свентицкий, Г.С. Боков, М.В. Антонинова. -Пущино: НЦБИ АН СССР, 1982. -42 с.
- 20 Свирижев, Ю.М. Математические модели экосистем / Ю.М. Свирижев // Экспериментальное и математическое моделирование искусственных и природных экосистем: тез. З Всесоюз. совещ. по упр. биосинтезу и биофизике популяций. -Красноярск, 1973. -С. 112-115.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электротехнология, устойчивость агробиоценоза, экологическая катастрофа
СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Порсев Евгений Георгиевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»
ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В СТРУКТУРНЫХ ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ОАО «РЖД»

ФГБОУ ВПО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Е.А. Савченко, Ю.М. Буинцева

MANAGING OF THE ENVIRONMENTAL PROTECTION COSTS IN THE STRUCTURAL UNITS OF JSC «RUSSIAN RAILWAYS»
Siberian state transport university
E.A. Savchenko, Ju.M. Buintseva

Increasing attention to environmental issues and conducting a variety of environmental protection measures require more detailed reflection of current expenditures and investments for these purposes in the nomenclature of revenues and expenditures by types of activity of JSC «Russian Railways», and in the investment programs.

Keywords: Investments, capital costs, operating costs, environmental measures, planning

Повышенное внимание к вопросам экологической безопасности, проведение разнообразных природоохранных мероприятий требуют более подробного отражения текущих и инвестиционных затрат на эти цели, как в номенклатуре доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД», так и в инвестиционных программах.

Одно из основных направлений повышения эффективности работы и конкурентоспособности предприятий железнодорожного транспорта – обеспечение высокого качества обслуживания клиентуры и расширение рынка транспортных услуг. Немаловажную роль в этом вопросе играет совершенствование методов управления затратами.

Сокращение транспортных затрат - важнейшая экономическая задача. В рыночных условиях управление затратами железных дорог зависит не только от внутриотраслевых производственно-экономических показателей, но и от показателей внешней среды, в которой функционирует отрасль, и конъюнктуры транспортного рынка.

Сложившаяся на рынке конъюнктура на потребляемые ресурсы, технику и технологии, в свою очередь, зависит от многих факторов, в том числе от объема перевозок, величины эксплуатационных расходов, тарифов, качества транспортного обслуживания, сроков доставки, а на первый план выходит необходимость повышения конкурентоспособности, финансовой и экологической устойчивости и надежности работы компании [1].

Снижение затрат, во многом зависит от результатов деятельности и является внутренним резервом ОАО «РЖД». Поэтому управление затратами как составляющая системы управления ОАО «РЖД» в значительной мере способствует повышению эффективности его работы.

Управление затратами основывается на следующих принципах управления:

- системный подход – комплексное управление затратами на всех уровнях с позиции единства и взаимодействия целей, функций и методов управления;
- эффективность затрат – управление затратами, направленное на выполнение необходимого объема производства с минимальными затратами;
- сочетание снижения затрат с высоким качеством продукции – снижение затрат не должно приводить к ухудшению качества и падению конкурентоспособности продукции;
- непрерывность – непрерывное управление затратами на всех уровнях управления для своевременного выявления отрицательных тенденций и принятия управленических решений для их ликвидации;
- совершенствование – постоянное совершенствование механизма управления затратами [3].

Планирование, прогнозирование и учет текущих затрат по видам деятельности железнодорожных дорог имеет своей целью обоснованное определение потребности в трудовых, материальных и финансовых ресурсах (в денежном выражении) для выполнения намеченных объемов продукции (перевозок, работ, услуг).

Группировка расходов по признакам их классификации на основе принципов и методовправленческого учета приведена в Классификаторе расходов (рисунок 1).

В состав расходов железнодорожного транспорта кроме расходов по основным видам деятельности, входят расходы на охрану окружающей среды. Текущие и инвестиционные затраты, направленные на осуществление мероприятий по защите атмосферы, водных бас-

ЭКОЛОГИЯ

сейнов и почвы складываются из капитальных вложений и текущих затрат на содержание и эксплуатацию основных фондов природоохранного назначения.

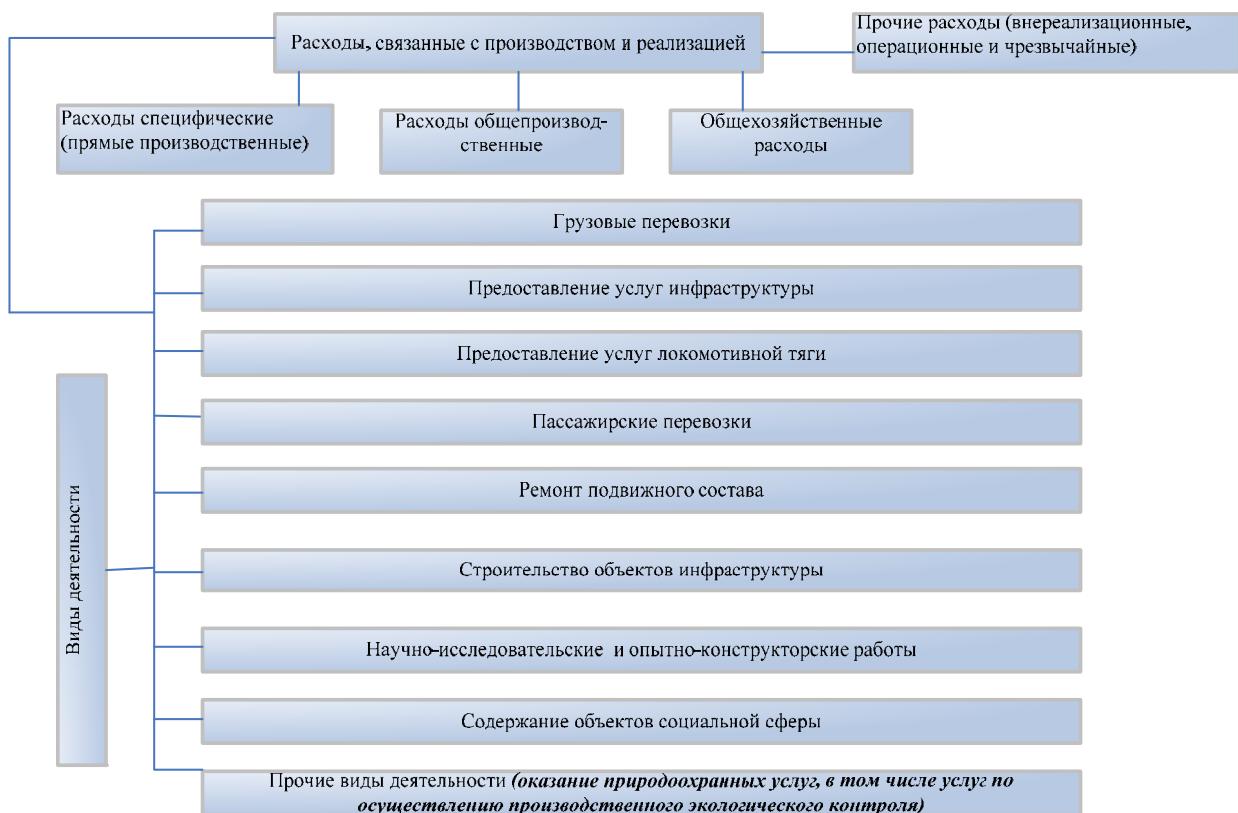


Рисунок 1 – Классификация расходов номенклатуры доходов и расходов по видам деятельности ОАО «РЖД»

Текущие затраты на охрану природы в свою очередь складываются из затрат, обеспечивающих работу предприятия с соблюдением нормативов выброса и сброса вредных веществ, размещения отходов, указанных в «Разрешении на выброс (сброс), размещение отходов», то есть с соблюдением нормативов предельно допустимых выбросов (сбросов) ПДВ (ПДС) и временно согласованные выбросы (сбросы) ВСВ (ВСС). Инвестиционные затраты должны предусматривать расходы на сокращение выбросов (сбросов) загрязняющих веществ и в первую очередь на достижение ПДВ (ПДС).

Капитальные вложения состоят из единовременных затрат, направленные на создание и реконструкцию природоохранного оборудования, в том числе газоочистительных установок для улавливания и обезвреживания загрязняющих веществ из газовых выбросов от технологического оборудования, и вентиляционных систем, пунктов экологического контроля и автоматических систем контрольно-регулировочных пунктов по проверке и снижению токсичности отработавших газов автомашин, тепловозов и другой железнодорожной техники, сооружений механической, физико-химической и биологической очистки сточных и поверхностных вод, а также сооружений сбора и обезвреживания шламов и отходов, систем обратного водоснабжения и опытных газе и водоочистных установок и установок для очистки загрязненных территорий.

Капитальные вложения определяются на основе сметной документации рабочего проекта или проекта природоохранного объекта с учетом стоимости оборудования, строительно-монтажных работ. Капитальные вложения на проведение мероприятий по охране атмосферного воздуха отмечаются в журнале учета ПОД-2.

Текущие затраты включают в себя затраты на содержание, обслуживание и ремонт газовоочистного оборудования, устройств сбора и обезвреживания отходов, шламов, включая опытные установки и на организацию контроля за содержанием вредных веществ в отходящих газах и сточных водах. К ним относятся также дополнительные затраты на эксплуатацию основных производственных фондов, связанные с совершенствованием производственной технологии, направленные на снижение отрицательного воздействия на окружаю-

щую природную среду, затраты на рекультивацию и очистку загрязненных территорий и на оплату услуг по охране природной среды, например, передачу стоков на доочистку и сброс в канализацию [2].

Текущие затраты по содержанию и эксплуатации любого объекта природоохранного назначения складываются из расходов на сырье и материалы, электроэнергию, заработную плату обслуживающего персонала с начислениями, амортизационными отчислениями на полное восстановление и текущий ремонт. Подсчет затрат на охрану атмосферного воздуха, рациональное использование и охрану водных ресурсов, отходы, рекультивацию ведут отдельно.

Текущие затраты по охране земли от загрязнений отходами включают затраты на содержание и эксплуатацию установок по обезвреживанию и утилизации загрязнителей, складов, хранилищ, шлаконакопителей и др. При расчете учитываются все статьи. Затраты, связанные с транспортировкой отходов с территории предприятия для передачи другим предприятиям, направлением в места организованного складирования и захоронения отходов, на санкционированные свалки и полигоны твердых бытовых отходов, для захоронения в недра и несанкционированные свалки, также учитываются при определении текущих затрат. Отдельно учитываются затраты других предприятий и организаций по вывозке, приему твердых производственных отходов на хранение, уничтожение или утилизацию.

Текущие затраты на рекультивацию земель определяют с учетом всех статей расходов. При отсутствии исходных данных для расчета текущих затрат допускается их оценивать в процентах от единовременных капитальных вложений в размере 30% при очистке воздуха, воды от взвешенных веществ и в размере 40% при очистке воздуха, воды от газообразных и жидких загрязняющих веществ [2].

В ОАО «РЖД» осуществляется перспективное и текущее планирование затрат в области охраны окружающей среды. В рамках перспективного планирования разрабатываются инвестиционные проекты «Обеспечение экологической безопасности», «Внедрение ресурсосберегающих технологий на железнодорожном транспорте», а также инвестиционные проекты департаментов, управлений, филиалов ОАО «РЖД».

Текущее планирование включает в себя подготовку годичных планов природоохранных мероприятий, направленных на охрану атмосферного воздуха, водных ресурсов, экономию невозобновляемых природных ресурсов, обращения отходов, охрану почв, проведение экологического мониторинга и разработку экологической проектно-разрешительной документации.

Текущие расходы на охрану окружающей среды обеспечивают тот минимум финансовых средств, который позволяет компании работать в штатном режиме, без наложения со стороны природоохранных ведомств ограничений и запретов на деятельность экологически небезопасных объектов [2].

Планирование затрат на природоохранные мероприятия осуществляется на двух уровнях: на уровне центрального аппарата управления и в отдельных филиалах и отдельных структурных подразделений (рисунок 2).

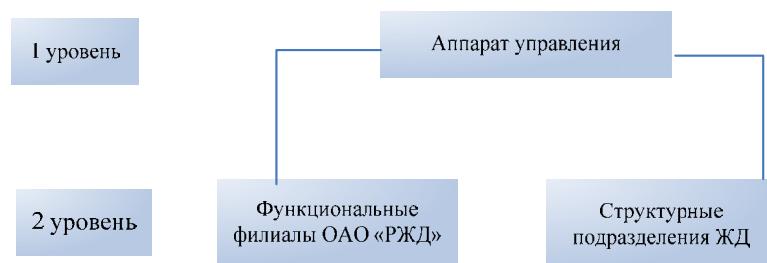


Рисунок 2 – Уровни планирования природоохранных затрат на железнодорожном транспорте

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Абрамов, А.П. Эксплуатационные расходы: планирование и регулирование / А.П. Абрамов // Ж.-д. трансп. -1997. -№2. - С. 60-64.

2 Экологическая стратегия ОАО «РЖД» на период до 2015 года и перспективу до 2030 года. -М., 2009. -56 с.

3 Котляров, С.А. Управление затратами: учеб. пособие / С.А. Котляров. -СПб., 2001. -243 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: инвестиции, капитальные затраты, текущие затраты, природоохранные мероприятия, планирование

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Савченко Елена Александровна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

Буинцева Юлия Михайловна, канд. экон. наук, доцент ФГБОУ ВПО «СГУПС»

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

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ НА ТЕРРИТОРИИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА (ХМАО-ЮГРЫ)

ФГБОУ ВПО «Омский государственный аграрный университет им. П.А. Столыпина»

Н.Л. Ряполова

THE MAXIMUM PERMISSIBLE ANTHROPOGENIC LOAD ON THE ENVIRONMENT ON THE TERRITORY OF KHANTY-MANSI AUTONOMOUS OKRUG (KHMAO-YUGRA)
Omsk state agrarian university named P.A. Stolypin
N.L. Ryapolova

The results of quantitative evaluation of maximum permissible anthropogenic load as one of the main factors of stability and self-capacities of the ecosystems of the region.

Keywords: anthropogenic load, environment, self-capacities of the ecosystems

Приведены результаты количественной оценки предельно допустимой техногенной нагрузки как одного из главных факторов устойчивости и самовосстановительных возможностей экосистем региона.

Согласно принципам сбалансированного природопользования, хозяйственная деятельность на определённой территории и техногенная нагрузка на окружающую природную среду не должны превышать восстановительные возможности экосистем данного региона. В связи с этим, определение размеров воздействия хозяйствующих субъектов на окружающую природную среду для оценки степени экологической устойчивости экосистем региона является важной и объективно необходимой задачей.

Современный хозяйственный потенциал ХМАО отражают основные демографические, социальные, экономические и производственные показатели. Их количественные значения во многом связаны с природно-ресурсным потенциалом. Округ относится к числу наиболее урбанизированных субъектов и наиболее населённых северных территорий России. Сфера экономики, где занято основное население ХМАО – это нефте- и газодобыча. Хозяйственный комплекс округа формируют такие виды экономической деятельности как добыча полезных ископаемых (91%); производство и распределение электроэнергии, газа и воды (6%), обрабатывающие производства (3%).

В стоимостной оценке объёмов производства (добычи) полезных ископаемых доля топливно-энергетических составляет 99,9%. Это определяет огромное значение ХМАО-Югры для экономики и энергетической безопасности России. В обрабатывающих производствах значительна доля выработки нефтепродуктов – бензина автомобильного (1,5 млн. т) и дизельного топлива (1,4 млн. т). Из других обрабатывающих производств в округе работают нефтесервисные, и лесопромышленные, а также производства по выпуску строительных материалов и пищевых продуктов [1]. Таким образом, производственный профиль округа невозможно отнести к числу экологически безопасных.

Кроме того, строящиеся и планируемые к строительству транспортные пути территории округа (железная дорога Салехард-Обская, Лабытнанги-Полуночное, Нижневартовск-Белый Яр, Салым-Ханты-Мансийск-Приобье, автодороги Югорск-Советский-Верхний Казым-Надым, Игри姆-Сартынья, Игри姆-Берёзово, Горноправдинск-Сибирский, Горнореченск-Большие Лепушки) с одной стороны, улучшат территориальную организацию транспортной сети региона, с другой повысят степень воздействия предприятий хозяйственного комплекса ХМАО-Югры на окружающую природную среду.

Экологическую устойчивость экосистем региона формируют, прежде всего, его природно-климатические особенности. Ханты-Мансийский автономный округ расположен в центральной части Западно-Сибирской равнины. В орографическом отношении территория имеет равнинный характер с большим количеством рек, озёр и болот. На формирование климата существенное влияние оказывает защищённость территории с запада Уральским хребтом, а также его открытость с севера, способствующая беспрепятственному проникновению холодных арктических масс. Гидрографическая сеть ХМАО представлена транзитными реками (Обь и Иртыш) и местными водотоками, общим числом около 30 тысяч, большим количеством озёр и болот.

Таким образом, природные ландшафты, формирование которых связано с условиями увлажнения и теплообеспеченности участка земной поверхности, определяют современное экологическое состояние компонентов окружающей среды региона и экологогеографические условия природопользования, в частности, предельно допустимую техногенную нагрузку (ПДТН). ПДТН – это величина, отражающая способность естественного природного комплекса сохранять свою целостность и качество в процессе преобразования энергии, самоочищения и регенерации компонентов природной среды.

В работе [2] предложен, а в работе [3] практически реализован для территории Западно-Сибирской равнины методический подход, сущность которого состоит в количественной оценке ПДТН посредством энергетических характеристик. Другими словами, предельно допустимая техногенная нагрузка q отражает естественную и техногенную энергетическую величину и характеризует энергетический обмен в экосистемах, являясь, тем самым, одним из главных факторов их устойчивости и самовосстановительных возможностей.

В упомянутых работах [2, 3] приводится современная трактовка энергетического подхода к оценке q как сумме удельных значений энергетических эквивалентов ресурсов тепла q_1 , поверхностного стока q_2 и годичной продукции фитомассы q_3 .

Таким образом, на разной стадии развития природного комплекса, путем установления предельно допустимой техногенной нагрузки q , можно оценить состояние эколого-экономических систем, к числу которых относится территория ХМАО-Югры.

Распределение значения q_1 на территории ХМАО имеет характер широтной зональности и меняется от 3275 на севере до 3900 тут/км² год на юге (таблица).

Численное значение величины q_2 на исследуемой территории меняется в пределах 360-1018 тут/км² год (таблица).

Естественно, что энергетический эквивалент предельно допустимой техногенной нагрузки на поверхностный сток зависит от увлажненности территории и условий формирования стока и определяет предел «изъятия» этой составляющей природного потенциала. Результатом совместного взаимодействия теплоэнергетических, водных и почвенных ресурсов является годичная продукция растительного покрова естественных экосистем. Энергетический эквивалент годичной продукции q_3 в ландшафтных районах исследуемой территории меняется 358-430 тут/км² год (таблица).

Результаты выполненных расчетов величин q_1 , q_2 и q_3 позволили получить изменение интегральной величины удельной предельно допустимой техногенной нагрузки q по территории ХМАО, которая варьирует от 3223 до 3924 тут/км² год. Величина ПДТН измеряется в тоннах условного топлива на один квадратный километр в год, и является нижним пределом при антропогенном воздействии на природный комплекс, при котором сохраняется естественная способность самоочищения и регенерации компонентов природной среды.

Распределение значения q имеет широтную зональность, с наибольшими значениями на юге и уменьшаясь к северу. Такая закономерность диктуется величиной q_1 , изменение которой определяется, главным образом, географической широтой местности.

Вместе с тем, суммарные значения q_2 и q_3 свидетельствуют, что исследуемый регион имеет территории, где вклад этих величин в суммарное q весьма значителен. Это районы пунктов Нумто, Октябрьское, Сытомино, Ларьяк, и в особенности пунктов Сургут и Угут. Эти территории, при прочих равных условиях хозяйственного воздействия, имеют более разнообразные условия для самовосстановления естественных экосистем.

Таким образом, путем использования разработанных нами региональных аналитических зависимостей, основанных на данных стандартных гидрометеорологических наблюдений

Таблица – Значения удельных предельно допустимых техногенных нагрузок территории ХМАО, тут/км²

Пункт	q_1	q_2	q_3	q
Саранпауль	2342	509	423	3275
Березово	2353	506	424	3282
Казым	2376	509	424	3308
Сосьвинская к/б	2401	468	426	3296
Нумто	2255	728	400	3383
Сартынья	2407	388	429	3223
Игрим	2443	391	429	3263
Октябрьское	2422	741	400	3563
Няксимволь	2484	516	423	3422
Сытомино	2512	620	415	3547
Ларьяк	2514	721	403	3639
Сургут	2504	1018	358	3880
Ханты-Мансийск	2666	499	425	3590
Угут	2550	1014	359	3924
Алтай	2671	590	418	3679
Шам	2679	381	430	3489
Кондинское	2735	361	430	3526

ний, определены значения удельной предельно допустимой техногенной нагрузки.

Названный параметр имеет не только научное, но и практическое значение, может быть использован при разработке схем рационального природопользования как один из показателей устойчивости экосистем к региональным и локальным антропогенным воздействиям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2012 году» [Электронный ресурс]. -Режим доступа: <http://www.ecogosdoklad.ru>.

2 Акимова, Т.А. Экология: учеб. для вузов / Т.А. Акимова, В.В. Хаскин. -М., 2000. -566 с.

3 Белоненко, Г.В. Эколого-географические условия транспортного освоения Западной Сибири / Г.В. Белоненко, Н.Б. Попова, Ж.А. Тусупбеков. -Новосибирск: Изд-во СГУПСа, 2012. -266 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: техногенная нагрузка, окружающая среда, самовосстановительные возможности экосистем

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Ряполова Наталья Леонидовна, старший преподаватель ФГБОУ ВПО «ОмГАУ им. П.А. Столыпина»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 644008, г.Омск, Институтская площадь, 2, ФГБОУ ВПО «ОмГАУ им. П.А. Столыпина»

ОЦЕНКА СТОКА ОРГАНИЧЕСКИХ ЭКОТОКСИКАНТОВ С ВОДОСБОРА МАЛЫХ РЕК ГОРОДА НОВОСИБИРСКА

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.В. Рошина, С.Я. Тарабенко

ASSESSMENT OF THE RUNOFF OF ORGANIC ECOTOXICANTS FROM THE CATCHMENT AREA OF THE SMALL RIVERS OF THE CITY NOVOSIBIRSK

Novosibirsk state academy of water transport

E.V. Roshtina, S.Ya. Tarasenko

Given hydrographic characteristics of small rivers of the city of Novosibirsk. The estimation of organic ecotoxicants. Calculated runoff on watersheds of small rivers.

Keywords: small rivers, oil products, phenols, runoff

Приведены гидрографические характеристики малых рек города Новосибирска. Данна оценка содержания органических экотоксикантов. Рассчитан сток с водосбора малых рек.

Вынос загрязняющих веществ с речным стоком имеет важное геохимическое значение. Данные о стоке необходимы для составления балансов, оценки загрязнения водоемов и водотоков, прогноза качества природных вод, определения биологической продуктивности, осуществления водоохранных мероприятий [1].

В данной работе проведена оценка стока органических экотоксикантов с водосбора малых рек г. Новосибирска за многолетний период. Наиболее распространенные экотоксики – это нефтепродукты, фенолы, синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВы), которые являются индикаторами техногенного загрязнения рек.

На территории г. Новосибирска протекает восемь малых рек: Иня (нижняя), Тула, Ельцовка-1, Ельцовка-2, Каменка, Нижняя Ельцовка, Плющиха, Камышенка.

Малые реки Новосибирска относятся к рыбохозяйственным водоемам второй категории, расположены в правобережье р. Оби, за исключением р. Тула, которая дренирует левобережную часть Оби.

В таблице 1 приведены гидроморфологические характеристики малых рек г. Новосибирска по состоянию на 2008-2010 гг.

Как видно из таблицы 1, общая протяженность малых рек г. Новосибирска около 125 км, площадь водосборов 114 км², что практически вдвое превышает площадь водосбора р. Оби в черте города.

Водосбор рек Каменка и Ельцовка-1 осложнен тем, что на значительном протяжении до 6,5 км и 1,5 км соответственно русло рек заключено в коллекторы.

Гидравлический режим малых рек крайне неравномерный. Основные источники питания – талые снеговые и дождевые воды, поэтому сток по сезонам неравномерен: 65-80% годового стока приходится на паводковый период и периоды интенсивных дождей.

Расчет стока органических экотоксикантов проводился по формуле

$$R = \sum_{i=1}^{12} Q_{cp} C_{cp} 10^{-6}, \text{ т/год},$$

где Q_{cp} – средний за период расход воды в реке, м³/ч;

C_{cp} – средняя концентрация загрязняющего вещества с учетом фоновой концентрации, мг/л.

Таблица 1 – Гидроморфологические характеристики малых рек г. Новосибирска

Реки	Длина реки/длина реки в черте города, км	Глубина вод (max/ср.), м	Средняя скорость реки, м/с	Среднегодовой расход (средний/половодье), м ³ /ч
Иня (нижняя)	663/11	3,0/2,0	0,4	6148/9836
Тула	92/11	2,2/0,2	0,1-2,8	7721/13368
Ельцовка-1	9,0/8,6	0,8/0,1	0,4-0,5	3483/4839
Ельцовка-2	14/13,8	1,2/0,1	0,10-0,15	3578/5863
Каменка	25/24	1,5/0,15	нет данных	5122/8147
Нижняя Ельцовка	-/14,5	0,6/0,4	0,3-0,5	583/995
Плющиха	13,9/12	0,6/0,15	0,2-0,3	1514/2486

Учитывая отсутствие систематических данных по гидрологическому режиму малых рек, для расчетов использовались среднегодовые расходы, полученные ранее в отделе гидрологии Западно-Сибирского центра мониторинга загрязнений окружающей среды. Сведения по уровню загрязнения малых рек органическими экотоксикантами были заимствованы в комплексной лаборатории мониторинга окружающей среды ФГБУ «Западно-Сибирского УГМС» за период 1995-2007 гг. [2-10].

Следует отметить, что за весь исследуемый период концентрации СПАВ в малых реках находились ниже норм для водоемов питьевого и культурно-бытового назначения, поэтому расчеты не проводились.

На рисунке 1 приведены данные по уровню загрязнения малых рек нефтепродуктами за период 1995-2007 гг.

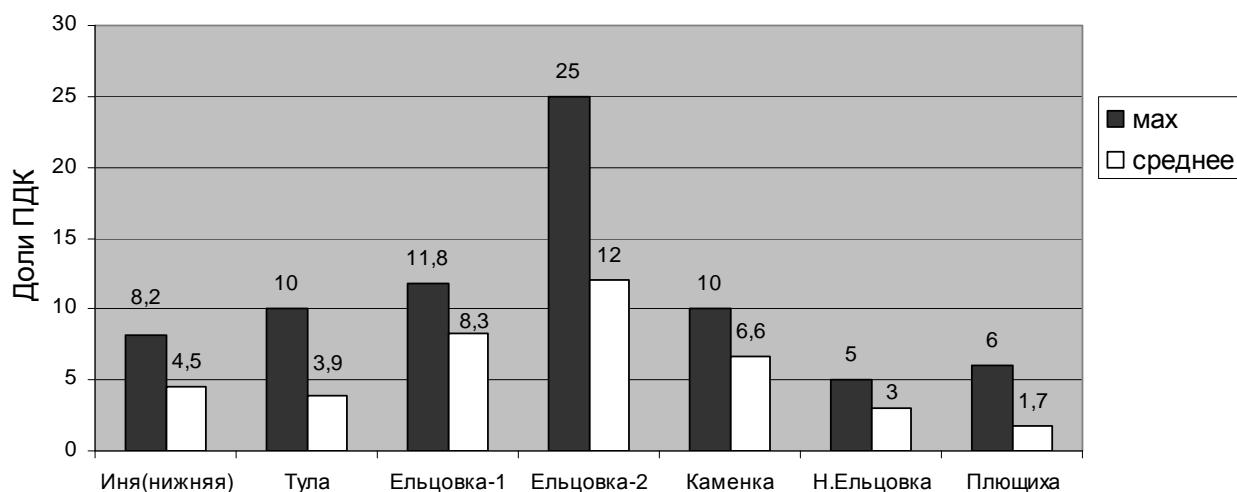


Рисунок 1 – Уровень загрязнения малых рек г. Новосибирска нефтепродуктами за период 1995-2007 гг.

Как видно из рисунка 1, уровень загрязнения нефтепродуктами малых рек существенный и колеблется 1,7-25 ПДК по усредненным данным. Максимальные уровни загрязнения нефтепродуктами составляли 5-25 ПДК. Основной источник загрязнения малых рек нефтепродуктами это поверхностный сток, на долю которого приходится более 77%, на промышленные и хозяйствственно-бытовые стоки 14% и 9% соответственно. Следует отметить, что в городе практически отсутствуют очистные сооружения для поверхностного стока.

На рисунке 2 приведены данные по стоку нефтепродуктов с водосбора малых рек г. Новосибирска за 1995-2007 гг.

Как видно из рисунка 2, максимальный сток нефтепродуктов изменялся в пределах 1-38 т/год при средних значениях 0,6-12 т/год.

На рисунке 3 приведены данные по загрязнению малых рек фенолами за 1995-2007 гг.

ЭКОЛОГИЯ

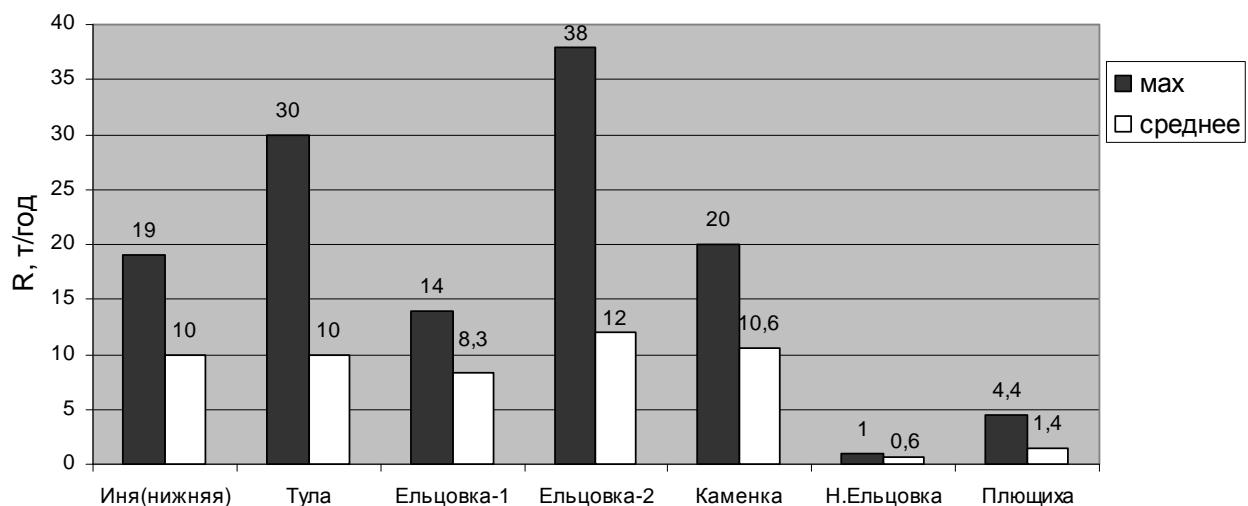


Рисунок 2 – Сток нефтепродуктов с водосбора малых рек г. Новосибирска за 1995-2007 гг.

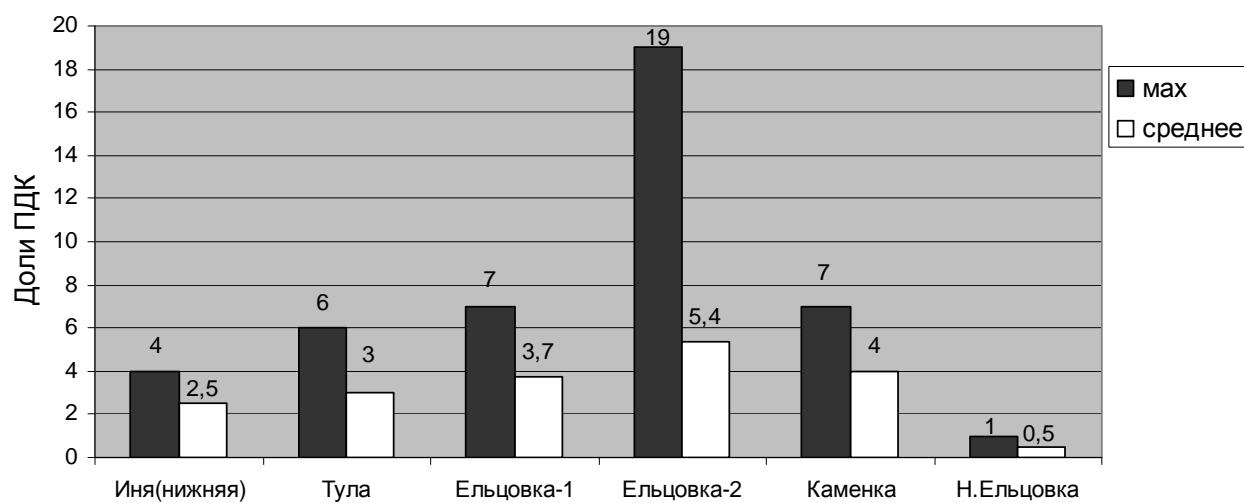


Рисунок 3 – Уровень загрязнения малых рек г. Новосибирска фенолами за 1995-2007 гг.

Как видно из рисунка 3, загрязнение рек фенолами колебалось в пределах 4-19 ПДК при средних значениях 0,5-5,4 ПДК. Наиболее высокий уровень загрязнения фенолами приходится на р. Ельцовка-2 – максимальные значения доходили до 19 ПДК, что свидетельствует о высокой техногенной нагрузке промышленных предприятий.

На рисунке 4 приведены результаты расчета стока фенолов с водосбора малых рек г. Новосибирска за 1995-2007 гг.

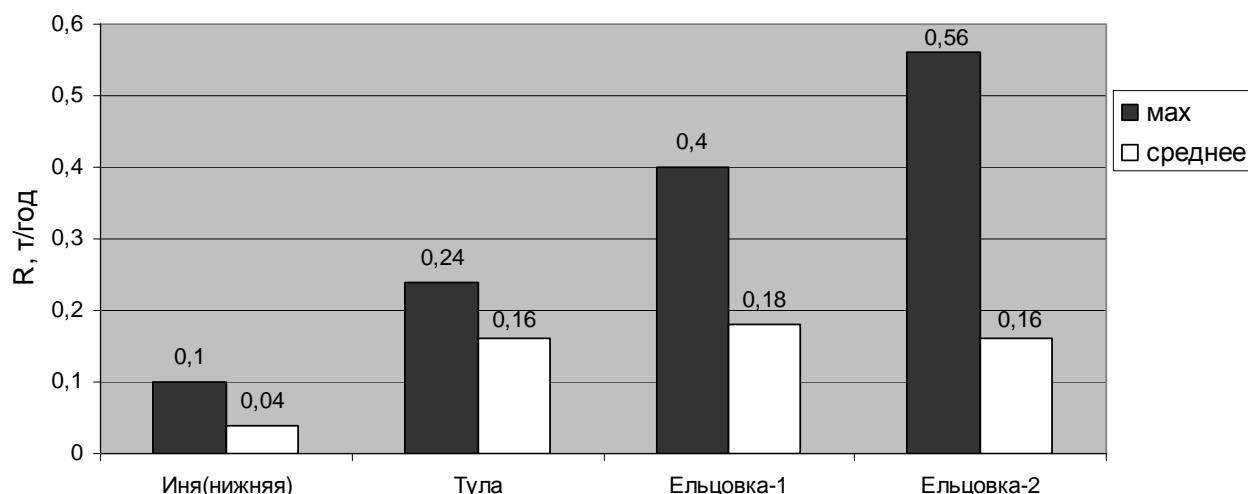


Рисунок 4 – Сток фенолов с водосбора малых рек г. Новосибирска за 1995-2007 гг.

ЭКОЛОГИЯ

Как видно из рисунка 4, максимальный сток фенолов изменялся в пределах 0,1-0,56 т/год при среднем значении 0,04-0,16 т/год.

Таким образом, за исследуемый период малые реки транспортировали в р. Обь более 360 т нефтепродуктов и более 4,7 т фенолов. Кроме промышленных сточных вод основным источником загрязнения малых рек города Новосибирска являются дождевые и талые воды, которые смывают с поверхности нефтепродукты, взвешенные вещества, биогенные элементы, хлориды, железо общее.

Для улучшения экологического состояния малых рек необходима эффективная очистка поверхностного стока, а также отказ от складирования снега и строительство снегоплавильных станций.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Малые реки России (использование, регулирование, методы водохозяйственных расчетов). -Свердловск: Сред.-Урал. кн. изд-во, 1988. -320 с.
- 2 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 1995 году». - Новосибирск, 1996.
- 3 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 1996 году». - Новосибирск, 1997.
- 4 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 1998 году». - Новосибирск, 1999.
- 5 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2000 году». - Новосибирск, 2001.
- 6 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2001 году». - Новосибирск, 2002.
- 7 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2003 году». - Новосибирск, 2004.
- 8 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2005 году». - Новосибирск, 2006.
- 9 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2006 году». - Новосибирск, 2007.
- 10 Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Новосибирской области в 2007 году». - Новосибирск, 2008.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: малые реки, нефтепродукты, фенолы, сток

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Роцина Екатерина Валерьевна, инженер ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Тарасенко Светлана Яковлевна, канд. хим. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

РОЛЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ АГРОЭКОСИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

Е.Г. Порсев

**ROLE OF ELECTROTECHNOLOGY TO IMPROVE THE STABILITY OF AGROECOSYSTEMS. ENVIRONMENTAL STABILITY OF AGRO-ECOSYSTEMS AND ANALYSIS OF THE FACTORS DETERMINING ITS
Novosibirsk state academy of water transport
E.G. Porsev**

An analysis of factors determining the environmental sustainability of agroecosystems. It was established as a result of passive experiment that significant factors are the number primary production, the number of plant species in a biocoenosis, the arrival of solar radiation, nekromassa, the mean annual air temperature, mass, and the number of heterotrophs moisture content of air. Found that in the energy input of agroenergy can replace the human influx of solar radiation, and an empirical mathematical model to predict not only the output of net primary production, but also the strength of humanity as a species of heterotrophs.

Keywords: electrical technology in agroecosystems, agrobiocenosis, ecosystem stability

Проведен анализ факторов, определяющих энергетическую эффективность и экологическую устойчивость агроэкосистем, установлено по результатам пассивного эксперимента, что значимыми факторами являются: чистая первичная продукция, количество растительных видов в биоценозе, приход солнечной радиации, некромасса, среднегодовая температура воздуха, массовое количество гетеротрофов и влагообеспеченность воздуха. Установлено, что в энергобалансе агроэкосистемы ввод антропогенной энергии может замещать приход солнечной радиации, а эмпирическая математическая модель позволяет прогнозировать не только выход чистой первичной продукции, но и численность человечества, как вида гетеротрофов.

Биогеоценоз – это совокупность на известном протяжении земной поверхности однородных природных явлений (атмосферы, горных пород, растительности, животного мира, мира микроорганизмов, почвы и гидрологических условий) имеющих свою особую специфику.

Основа существования всего живого как в биосфере, в биогеоценозах, так и в агроценозах – поток солнечной энергии и круговорот химических элементов.

Поток солнечной энергии, как это известно [1, 2], обеспечивает в природе не только нагревание объектов окружающей среды и подачу фотосинтетически активной радиации (ФАР) для жизнедеятельности автотрофных организмов [3], но и круговорот химических элементов за счёт энергии части спектра солнечного излучения, напрямую не воздействующего на фотосинтетический аппарат растений, но способствующий тепломассопереносу в окружающей среде.

Общеизвестно, что освещённость солнечными лучами зависит, прежде всего, от географической широты ценоза, определяющей за счёт угла наклона земной оси по отношению к плоскости околосолнечной орбиты Земли в течение годового цикла и приход солнечной энергии на поверхность Земли и среднегодовую температуру. В то же время известно, что каждому значению облучённости соответствует своё оптимальное значение температуры, при котором растения наиболее полно используют (при прочих равных условиях) энергию оптического излучения на фотосинтез и формирование продуктивности [3, 4].

Если говорить об агроценозах, то следует иметь в виду, что агроценозы это, прежде всего, объекты второй природы – создания человека несмотря на то, что они вовлекают в свои кругообороты часть глобальной экосистемы. Началом начал всего сельского хозяйства служит электромагнитная энергия оптического излучения, которую земные организмы включают в кругооборот жизненных процессов. Она составляет 98% общей энергии, которая преобразуется растениями в энергию, самую ценную для человечества, сконцентрированную в хирально чистом веществе фитопродукции. Остальные 2% приходятся на машины, моторы, орудия, топливо, производство минеральных удобрений, обработку и мелиорацию полей. Если учесть, что в каждую секунду поверхности Земли достигает около 20 триллионов ккал солнечной энергии, а человечество ценой колоссальных усилий ежегодно добывает 6 млрд. т условного топлива (1 т условного топлива эквивалентна 7106 ккал), то окажется, что в общепланетном масштабе это всего лишь 30 мин солнечной радиации, приходящей на поверхность Земли. Таким образом, главным фактором, обеспечивающим получение фитопродукции, и естественно, устойчивое функционирование всех составляющих биогеоценоза, является приход солнечной радиации. Влияние человека на биогеосистему невелико, хотя локально и зачастую приводит к локальным экологическим катастрофам либо к увеличению фитопродуктивности, что достигается необходимостью увеличения затрат, локально антропогенной энергии, в некоторых технологиях она достигает 10% от энергии, аккумулированной в урожае. Электротехнологические операции для максимизации продуктивности с учётом факторов температуры среды и освещённости – это электронагрев и электрооблучение.

Влияние видового многообразия на устойчивость экосистем. Гипотеза о большей устойчивости более сложных сообществ не нова [2,5], причём люди древности это понимали и использовали данный принцип для повышения урожайности: цивилизации Китая в Азии и Майя в Америке.

Чем сложнее построена система, сложенная из растений и животных, тем лучше она противостоит неблагоприятным воздействиям, тем она устойчивее [6], однако структура биологической системы (набор видов), для эластичных сообществ не является признаком устойчивости. Структура – одна из меняющихся величин вследствие возможности замены одних видов другими. Вероятно, фактором устойчивости является численность видов. Экологи считают, что устойчиво может существовать только экосистема, имеется в виду природная, в которой более двадцати видов. Когда речь заходит об агроценозах, то ряд авторов считают достаточным набор видов 5-7 единиц [7,8].

Причина, видимо, кроется в давлении на сообщество из внешней по отношению к экосистеме среды. Чем больше растительных видов, животных одного вида в популяции, чем больше суммарное количество видов в сообществе, тем равномернее распределяется между ними внешняя нагрузка, «причём давление на каждую единицу обратно пропорционально числу единиц».

Отсюда понятно, что обеднение структуры агроценозов ведёт к тому, что они, несмотря на постоянную заботу человека, теряют способность к саморегуляции, становятся

неустойчивыми. Без постоянной помощи человека агроценозы теряют равновесие.

Устойчивость естественных биогеоценозов к изменению внешних условий и нарушению баланса отдельных популяций в его составе объясняется сложностью структуры этих сообществ.

В связи с тем, что уже сегодня пашни и пастбища занимают около 30% суши и процесс «окультуризования» планеты продолжается, несмотря на малый вклад человечества в энергетику глобальной экосистемы возникает угроза устойчивости её со стороны монокультурных агротехнологий.

Очевидно, что явно воздействовать на видовое многообразие с помощью электротехнологий сложно, возможно только для осуществления транспортных операций.

Влияние влаго- и воздухообеспеченности почвы на устойчивость экосистем. Как известно, в органическом веществе почвы суши нашей планеты, которое образуется в основном в результате разложения остатков растительности и почвенных микроорганизмов, со средоточено 121018 ккал энергии. Основой существования экосистем суши и является почва, аккумулирующая энергию Солнца. Почвенный гумус аккумулирует энергию во много раз интенсивнее всех остальных элементов биогеоценоза – в 10-35 раз больше, к примеру, чем наземная растительная масса. Происходит это, как известно, за счёт почвенных микроорганизмов – в 1 г горного чернозёма содержится до 8 млн. организмов, как правило, это аэробные бактерии и нематоды, которым для жизни необходим воздух.

Вода в почве – необходимый компонент существования не только микроорганизмов, но и высших растений, причём вода необходима как для охлаждения растений, растворения питательных веществ, так и для фотосинтеза. Кроме того, вода служит для транспорта химических элементов внутри почвы. Процессы, определяющие потребление и поглощение воды растениями, очень сложны и поэтому ещё далеки от окончательной расшифровки [9]. Однако отмечено, что как излишнее, так и недостаточное увлажнение почвы резко снижает фитопродуктивность экосистемы, и агроценозов тоже [10]. Зависимость фитопродуктивности от влажности почвы носит экстремальный характер (рисунок 1). Очевидно, что в природе оптимальное соотношение влаго- и воздухообеспеченности почвы осуществляется за счёт энергии Солнца, в основном за счёт испарения и градиента термовлагопроводности, а в агроценозах затрачивается и антропогенная энергия, но уже в виде мелиорации и возделывания почвы орудиями, увлажнение корнеобитаемого слоя почвы или осушения можно добиться с помощью электроосмоса.

Энергетическая оценка антропогенных факторов экологической устойчивости

Всё разнообразие процессов пищеварения сводится в сущности к трём основным типам: внутриклеточному, мембранныму и внеклеточному. Они поразительно сходны у всех живых организмов – от бактерий до млекопитающих.

На одном полюсе этой системы трофики клетки как необходимое условие жизни, на другом – кругооборот веществ и энергии в земной биосфере. Ежегодно образуется 230 млрд. т органического вещества, чтобы разрушиться, послужив пищей всем живущим на Земле.

На синтез 1 г органического вещества расходуется около 3750 кал, а на испарение 1 см³ воды – 5800 кал, из этого количества, как указывалось выше, на долю технологий (антропогенное вмешательство) падает около 2% энергозатрат. В свою очередь антропогенные энергозатраты на производство сельскохозяйственной продукции представляют собой следующее [11, 12]:

- прямые затраты энергии, заключающиеся в затратах топлива и энергии на технологический процесс;
- овеществлённые затраты энергии – энергия затраченная на производство минеральных удобрений, гербицидов, пестицидов, ядохимикатов, используемых в технологиях возделывания, уборки, послеуборочной обработки и переработки урожая;
- энергозатраты живого труда обслуживающего персонала, расходующего энергию на процесс;
- энергозатраты на производство средств механизации;
- энергозатраты на послеуборочные технологические операции.

Одним из наиболее перспективных методов при анализе процессов, происходящих в искусственных и природных экосистемах, следует признать энергетический подход, который в силу своей универсальности позволяет на теоретически обоснованном уровне подойти к сравнительной оценке различных экосистем [13].

Общепринятые методики предлагают учитывать антропогенную энергию, затрачивае-

мую на производство фитопродукции, на основе принципа замыкающих затрат с использованием энергетических эквивалентов затрат [12]. При этом необходимо иметь в виду, что антропогенные энергозатраты производятся в основном на регулирование влаго- и воздухообеспеченности почвы (необходимых условий существования почвенных микроорганизмов) и атмосферы.

Исходя из этого можно допустить, что при учёте продуктивности агро-биоценоза в едином масштабе единиц измерения, с энергозатратами на производственный процесс, в единицах энергии, всегда суммарное количество биопродукции агро-биоценоза для заданной климатической зоны будет отличаться от количества биопродукции естественного биогеоценоза идеального варианта в меньшую сторону, причём для уменьшения разницы в продуктивностях необходимо либо изменить видовое многообразие, либо увеличить ввод антропогенной энергии в систему для создания оптимальных условий получения чистой первичной продукции (ЧПП) (рисунок 2). Очевидно, что осуществить глубокий ввод энергии можно с применением электротехнологии: электронагрев, электрокинетика, электрооблучение.

Процесс формирования продуктивности растений в заданных экологических условиях – образование ЧПП (биомасса животных, простейших и беспозвоночных, в том числе в биогеоценозах, составляет не более 7-8%, а теплокровных – около 0,02%) целесообразно рассматривать на основе системного подхода как процесс преобразования электромагнитной энергии оптического излучения в химическую энергию вновь созданных растениями благодаря фотосинтезу органических веществ. Влияние на процесс фитопродукции других экологических факторов можно рассматривать как ограничения [14]. Феноменологическая модель продуктивности биогеоценоза будет иметь вид:

$$\Pi = f(\mathcal{E}_e) \rightarrow \max, \text{ при } t = t_1 \dots t_n; B = B_1 \dots B_n; M = M_1 \dots M_n, \quad (1)$$

где Π – продуктивность биогеоценоза;
 \mathcal{E}_e – годовой приход солнечной радиации;
 M – количество растительных видов;
 t – температура воздуха и почвы;
 B – влажность почвы.

Очевидно, что такая упрощённая модель неадекватна процессу, так как не учитывает парных и тройных взаимодействий факторов. Очевидно также, в свете выдвинутой гипотезы, что устойчивость биогеоценоза – это его экстремальное состояние. С учётом видового

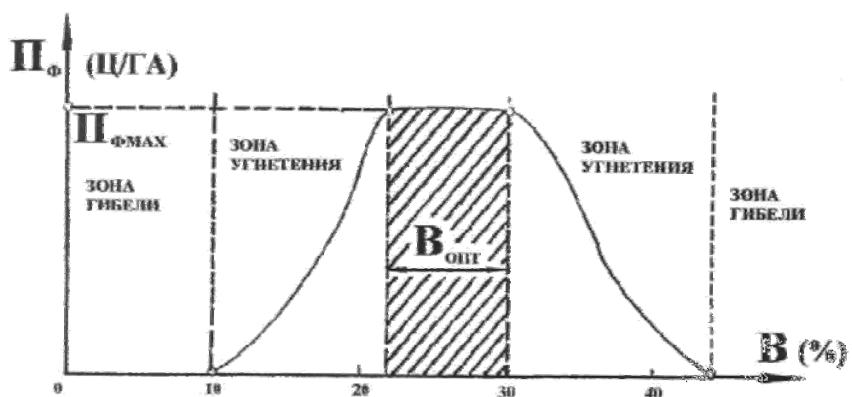


Рисунок 1 – Зависимость фитопродуктивности сельскохозяйственных растений от влажности почвы: Π_{ϕ} -фитопродуктивность; B -влажность почвы

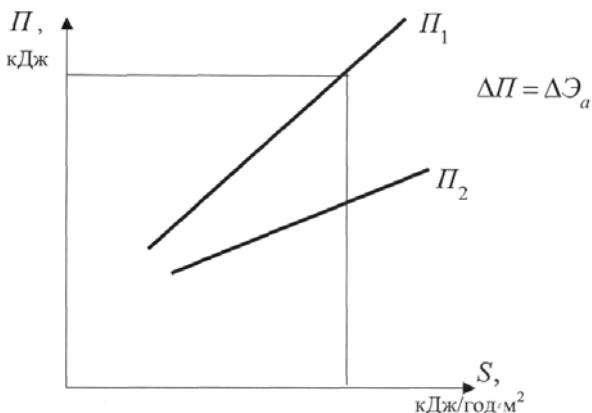


Рисунок 2 – Зависимость продуктивности биоценозов от прихода энергии в систему: Π -продуктивность, кДж/(год·м²); S -суммарный приход энергии, кДж/(год·м²); Π_1 -максимально возможная природная продуктивность; Π_2 -продуктивность агроценоза; $\Delta\Pi = \Delta\mathcal{E}_a$ -антропогенная энергия, необходимая для повышения продуктивности агроценоза до естественного уровня

многообразия, температуры и влажности, а также их парных взаимодействий феноменологическая зависимость устойчивости агробиоценоза примет вид:

$$\begin{cases} \Pi = f(\mathcal{E}, M, t, B, \tau, \mathcal{E} \cdot t \cdot B, t \cdot \tau, t \cdot B) \rightarrow \max; \\ H_m / \Pi = f(\mathcal{E}, M, t, \tau, B, \mathcal{E} \cdot t \cdot B, t \cdot \tau, t \cdot B) \rightarrow \min. \end{cases} \quad (2)$$

Регрессионный и корреляционный анализы проводились с использованием пакета прикладных программ Snedekor по характеристикам естественных биоценозов, взятых как предельные случаи продуктивности ценозов в конкретных климатических и геофизических условиях. Характеристики биоценозов рассчитаны по данным ряда авторов: Бигона [1], Н.И. Базилевич [15], К.Я. Кондратьева [16], И.И. Свентицкого [17] и сведены в таблицу 1. Система уравнений регрессии после уточнения имеет вид:

$$\begin{cases} \Pi_{\text{чп}} = 1,81713 - 0,03515M - 0,00126\mathcal{E} - 0,00186B - \\ - 0,00034 \frac{H_m}{\Pi_{\text{чп}}} + 0,01335T + 0,000M \cdot \mathcal{E} - 0,15651 \frac{\Pi_e}{\Pi_{\text{чп}}} ; \\ \frac{H_m}{\Pi_{\text{чп}}} = 11,85164 - 8,98074\Pi_{\text{чп}} + 0,47057H_m + 60,7214\Pi_e + 0,03762\mathcal{E} + \\ + 0,11352B - 0,24088\mathcal{E} \cdot B - 0,4814T + 0,0032\mathcal{E} \cdot T \cdot B - 261,47014 \frac{\Pi_e}{\Pi_{\text{чп}}}. \end{cases} \quad (3)$$

где $\Pi_{\text{чп}}$ – чистая первичная продукция, кг/м² год;

M – количество растительных видов в биоценозе, шт;

\mathcal{E} – приход солнечной радиации на удельную поверхность, кДж/(м²/год 10⁷);

H_m – некромасса, кг/м²;

T – среднегодовая температура воздуха, °C;

Π_e – массовое количество гетеротрофов, кг/м² год;

B – влагообеспеченность – среднегодовая норма осадков, см.

Достоверность регрессионной зависимости оценивалась по критерию Стьюдента. Результаты корреляционного анализа представлены в таблице.

Анализ данных корреляционных зависимостей говорит о том, что на производство чистой первичной продукции влияют более всего приход солнечной радиации, температура воздуха и соотношение массы гетеротрофов к ЧПП, а на критерий катастрофичности – некромасса, соотношение массы гетеротрофов к ЧПП и температура воздуха. Кроме того, произведение видового многообразия на приход радиации положительно влияет на производство ЧПП, а гидротермический коэффициент – отрицательно (приводит к накоплению некромассы).

Повышение экологической устойчивости и продуктивности агробиоценоза – понятия однонаправленные, поэтому на современном уровне развития производительных сил имеет смысл говорить о производстве фитопродукции, или как принято в экологии, о чистой первичной продукции. При анализе всех без исключения агротехнологий можно найти в них технологические операции, направленные на оптимизацию условий выращивания соответствующих культур или животных, на максимизацию продуктивности. Как правило, эти технологические операции используют те же законы и явления физики, что и природа: для удаления избытка влаги – испарение, для увеличения влажности почвы – орошение дождеванием, изменение химического состава почвы – механическим внесением соответствующих ингредиентов и т.д.

В то же время физика знает и другие способы производства той же самой полезной работы, но с меньшими энергозатратами. В природе эти способы не всегда реализуются в связи с необходимостью многократного преобразования энергии. Одним из таких явлений является электрохимическая, включающая электроосмос, электрофорез, осмо-ЭДС, форо-ЭДС, которые могут дать веер

*Таблица – Максимум
корреляции факторов влияющих
на продуктивность*

Фактор	Функция отклика	
	$\Pi_{\text{чп}}$	$H_m / \Pi_{\text{чп}}$
M	-0,3105	
\mathcal{E}	-0,5037	
$\mathcal{E} \cdot 10^{10}$	-0,3684	-0,5884
$H_m / \Pi_{\text{чп}}$	-0,3089	
T	0,4526	-0,7809
$M \cdot B \cdot 10^3$	0,3869	
$\Pi_e / \Pi_{\text{чп}}$	-0,5818	-0,8002
$\Pi_{\text{чп}}$		-0,6816
H_m		0,9328
Π_e		0,3495
B		0,5975
$\mathcal{E} \cdot T \cdot 10^{10}$		0,5356

ЭКОЛОГИЯ

новых технологических возможностей с использованием электротехнологии на промышленном уровне.

Кроме этого, эмпирическая математическая модель (3) позволяет прогнозировать не только максимальное количество фитопродукции с поверхности суши, но и максимальную численность человечества, как вида гетеротрофов, вовлечённого в общепланетный круговорот биологического вещества в условиях постоянства биохимических превращений материи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т. 1 / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. -М.: Мир, 1989. -667 с.
- 2 Бигон, М. Экология. Особи, популяции и сообщества. Т. 2 / М. Бигон, Дж. Харпер, К. Таунсенд. -М.: Мир, 1989. -477 с.
- 3 Согласование температуры окружающей среды с оптическим облучением растений / И.И. Свентицкий, П.И. Сторожев, В.Г. Сулацков, В.И. Ефанов // Механизация и электрификация соц. сел. хоз-ва. -1968. -№2. -С. 24-28.
- 4 Свентицкий, И.И. Методика системного изучения зависимости продуктивности высших растений от экологических условий / И.И. Свентицкий. -Пущино: ОНТИ НЦБИ АН СССР, 1979.
- 5 Elten, C.S. The Ecology of Invasion by Animals and Plants / C.S. Elten. -London: Methuen, 1958.
- 6 Бабко, А.Н. Электроосмотическое водопонижение в почвах защищенного грунта для повышения их плодородия: дис. ... канд. техн. наук / А.Н. Бабко. -Целиноград, 1992. -164 с.
- 7 Guterstam, Bjorn. Ecological engineering for wastewater treatment: Theoretical foundations and practical realities / Bjorn Guterstam // Ecological Engineering for wastewater Treatment. -Sweden, 1991. -P. 38-54.
- 8 Mitsch, W.J. Ecological engineering: The roots and rationale of a new ecological paradigm / W.J. Mitsch // Ecological engineering for Wastewater Treatment. -Sweden, 1991. -P. 19-37.
- 9 Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х.М. Торнли; пер. с англ. А.С. Каменского. -М.: Агропромиздат, 1987. -400 с.
- 10 Яблокова, М.М. Оптимизация основных факторов формирования урожайности ведущих сельскохозяйственных культур на орошаемых землях в засушливых зонах Алтайского края: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук / М.М. Яблокова. -Волгоград, 1986. -75 с.
- 11 Обоснование эффективности систем электротеплоснабжения сельскохозяйственных потребителей: метод. рекомендации / ВАСХНИЛ, Сиб. отд-ние. -Новосибирск, 1986. -54 с.
- 12 Методика энергетического анализа технологических процессов с сельскохозяйственным производством: метод. рекомендации. -М.: ВИМ, 1995. -96 с.
- 13 Дарг, В.А. Энергетический подход к сравнительной оценке искусственных экосистем / В.А. Дарг // Экспериментальное и математическое моделирование искусственных и природных экосистем: тез. III совещ. по упр. биосинтезу и биофизике популяций. -Красноярск, 1973. -С. 21-22.
- 14 Комплексный учет фотосинтезной энергии излучения, температуры и влажности по их влиянию на продуктивность растений в динамике / Л. Глочев, И.И. Свентицкий, Г. Георгиев, В. Мудрин, И. Христов, В. Волков. -Пущино: НЦБИ АН СССР, 1982. -55 с.
- 15 Базилевич, Н.Н. Биологическая продуктивность экосистем Северной Евразии / Н.Н. Базилевич. -М.: Наука, 1993. -293 с.
- 16 Кондратьев, Л.Я. Лучистая энергия солнца / Л.Я. Кондратьев. -Л.: ГИМИЗ, 1954. -600 с.
- 17 Свентицкий, И.И. Системный анализ потоков энергии в агроценозах: метод. рекомендации / И.И. Свентицкий, Г.С. Боков, М.В. Антонинова. -Пущино: НЦБИ АН СССР, 1982. -42 с.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электротехнологии в агроэкосистемах, агробиоценоз, устойчивость экосистемы

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ: Порсев Евгений Георгиевич, докт. техн. наук, профессор ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: 630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ ГОРОДА НОВОСИБИРСКА НА СОСТОЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА МИКРОРАЙОНА «ЗАТОН»

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»

О.В. Спиренкова, М.А. Бучельников, А.В. Панов

THE INFLUENCE FROM ACTIVITIES SECOND AND THIRD COGENERATION PLANTS IN NOVOSIBIRSK TO SNOW COVER QUALITY IN «ZATON» DISTRICT

Novosibirsk state academy of water transport

O.V. Spirenkova, M.A. Buchelnikov, A.V. Panov

Consideration of influence from heat-and-power complex companies activities to snow cover quality in Novosibirsk and in particular in «Zaton» district. Pollution rating was made by concentration of pollutants in snow water and effluent-suspended solids contained in it, also by index of heavy metals concentration in snow.

Keywords: pollution, snow, heavy metals

Рассмотрено влияние деятельности предприятий теплоэнергетического комплекса на качество снежного покрова в г.Новосибирске и в частности в микрорайоне «Затон». Оценка загрязнения проведена по концентрации загрязняющих веществ в снеговой воде и содержащихся в ней взвешенных частицах, а также по суммарному показателю загрязнения снега тяжелыми металлами.

Вторая и третья теплоэлектроцентраль (ТЭЦ) г. Новосибирска являются одними из серьезных загрязнителей снежного покрова, так как он является эффективным накопителем аэрозольных загрязняющих веществ из атмосферного воздуха. Эти предприятия выбрасывают в атмосферный воздух такие загрязняющие вещества, как диоксид серы, оксид углерода, окислы углерода, твердые вещества, углеводороды, летучие органические соединения и т.д. При образовании и выпадении снега концентрация загрязняющих веществ в нем оказывается обычно на 2-3 порядка величины выше, чем в атмосферном воздухе. Загрязнение снежного покрова происходит в 2 этапа. Во-первых, это загрязнение снежинок во время их образования в облаке и выпадения на местность - влажное выпадение загрязняющих веществ со снегом. Во-вторых, это загрязнение уже выпавшего снега в результате сухого выпадения загрязняющих веществ из атмосферы, а также их поступления из подстилающих почв и горных пород.

Объектами исследования явились территории, расположенные вблизи теплоэнергетических комплексов и территории микрорайона «Затон». Для определения качества снежного покрова были отобраны пробы в конце холодного периода в 2013-2014 гг., а именно в конце февраля-марте, так как проба по всей толще снежного покрова дает представительные данные о загрязнении в период от образования устойчивого снежного покрова до момента отбора пробы, то есть практически за весь отопительный сезон. Отбор проб снега на территории города и расчеты степени его загрязнения выполнялись в соответствие с «Методическими рекомендациями» [1]. Пробы отбирались из шурфов (скважин), вскрывающих всю толщу снегового покрова (рисунок 1).

В пробах определялись следующие показатели: pH, взвешенные вещества, нефтепродукты, металлы (хром, цинк, свинец, кадмий, никель, марганец, железо, медь, алюминий).

Загрязнение снежного покрова оценивалось по:

- концентрации загрязняющих веществ в снеговой воде и содержащихся в ней взвешенных частицах;
- суммарному показателю загрязнения снега тяжелыми металлами (Z_c).

Расчет суммарного показателя загрязнения проводили по следующей формуле

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n-1),$$

где K_c – коэффициент концентрации, который рассчитывается как отношение содержания элемента в исследуемом объекте к среднему фоновому содержанию.

Для оценки степени загрязнения снежного покрова были использованы показатели из таблицы «Уровни загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами» (таблица 1) [1].

Фоновые концентрации загрязняющих веществ в снеге были взяты в трех точках, расположенных в 5 км на северо-запад от Ордынской и 400 м от Толмачевской трассы.

На исследуемых территориях во всех анализируемых пробах снега показатель pH был близок к фоновому, а содержание остальных веществ заметно превышало фоновые концентрации. Так, например, в пробе, отобранной в микрорайоне «Затон» на ул. Штурвальной между домами №62 и №66, количество взвешенных веществ составляет 698 мг/л, а также большое содержание всех металлов, например железа – 6,9 мг/л, марганца 0,29 мг/л, что превышает фоновые значения в десятки раз. В основном по всем рассматриваемым территориям наблюдается превышение фоновых концентраций металлов.



Рисунок 1 – Разрез толщи снежного покрова (слева) и пробоотборник (справа)

Таблица 1 – Значения суммарного показателя загрязнения снежного покрова

Уровень	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова
Незагрязненный	менее 32
Низкий	32-64
Средний	64-128
Высокий	128-256
Очень высокий	более 256

Показатель Z_c так же во всех пробах характеризуется как «высокий» или «очень высокий», особенно ярко это наблюдается на территориях, расположенных в юго-западном направлении от ТЭЦ-4 и ТЭЦ-5, а также на территории микрорайона «Затон», на которую оказывают непосредственное влияние ТЭЦ-2 и ТЭЦ-3. Пример распределения показателя Z_c в снежном покрове приведен на рисунке 2.

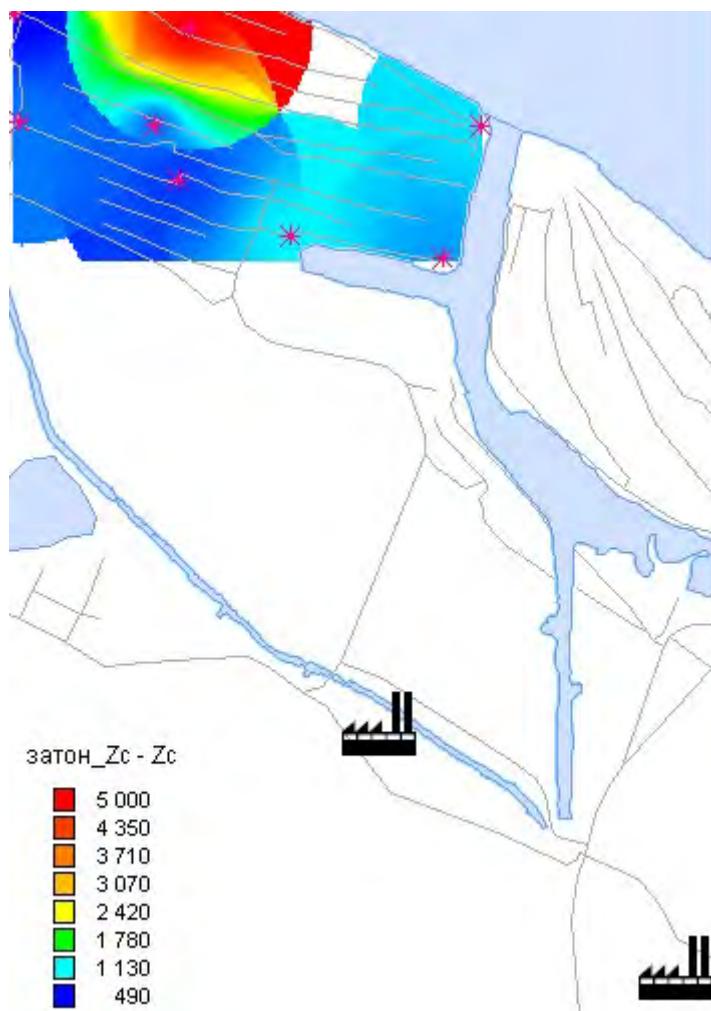


Рисунок 2 – Распределение показателя Z_c в снежном покрове микрорайона «Затон»

Таким образом, на изучаемых территориях наблюдаются высокое загрязнение снежного покрова по всем рассматриваемым показателям, кроме pH. Для очистки загрязненного снега необходимо рассмотреть установку снегоперерабатывающих сооружений, и конкретно в нашем случае снегосплавных пунктов на сбросных водах ТЭЦ, которые можно спроектировать на ТЭЦ нашего города, что принесет как экономическую, так и экологическую выгоду для Новосибирска.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве: утв. гл. гос. санитар. врачом СССР 15.05.1990. -М.: ИМГРЭ, 1990.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: теплоэнергетический комплекс, загрязнение, снег, тяжелые металлы, heat-and-power complex

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ: Спиренкова Ольга Владимировна, старший преподаватель ФГБОУ ВО «НГАВТ»
Бучельников Михаил Александрович, канд. биол. наук, доцент ФГБОУ ВО «НГАВТ»

ПОЧТОВЫЙ АДРЕС: Панов Аркадий Васильевич, заведующий лабораторией ФГБОУ ВО «НГАВТ»
630099, г.Новосибирск, ул.Щетинкина, 33, ФГБОУ ВО «НГАВТ»

СОДЕРЖАНИЕ

ЭКСПЛУАТАЦИЯ И ЭКОНОМИКА ТРАНСПОРТА

Зачёсов В.П.

РЕЧНОЙ ТРАНСПОРТ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ СЕВЕРНЫМ ЗАВОЗОМ.....3

Крайнова В.В.

ФОРМИРОВАНИЕ БЮДЖЕТА ДОХОДОВ И РАСХОДОВ СУДОХОДНОЙ КОМПАНИИ9

Крайнова В.В.

ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ УПРАВЛЕНЧЕСКОГО УЧЕТА В ОРГАНИЗАЦИЯХ
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ6

Громова Н.В.

ПРОИЗВОДСТВЕННО-ХОЗЯЙСТВЕННАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ ЗАПАДНО-СИБИРСКОГО
ПАРОХОДСТВА: ИТОГИ И ПЕРСПЕКТИВЫ12

Мукасев А.В.

РОЛЬ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ КУЛЬТУРЫ В УПРАВЛЕНИИ ЧЕЛОВЕЧЕСКИМ КАПИТАЛОМ
КОМПАНИИ.....16

Некорошков В.П., Новикова А.В.

ОСОБЕННОСТИ МЕЖРЕГИОНАЛЬНОГО ВНЕШНЕЭКОНОМИЧЕСКОГО СОТРУДНИЧЕСТВА
ПРИГРАНИЧНЫХ СУБЪЕКТОВ РОССИИ И КИТАЯ18

Сивицкий Д.А.

МЕТОД ДИНАМИЧЕСКОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ КАК ОСНОВА АЛГОРИТМА РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ
РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СОРТИРОВОЧНОЙ РАБОТЫ НА ПОЛИГОНЕ И В ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЗЛЕ21

Трефилова И.А.

КОНЦЕПЦИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ ИЗДЕРЖЕК В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЕМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА24

Красильникова Н.Н.

К ВОПРОСУ О ОРГАНИЗАЦИИ ДВИЖЕНИЯ ГРУЗОВЫХ ПОЕЗДОВ НА ПРИГРАНИЧНОМ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ УЧАСТКЕ26

Корховая Е.А.

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНОЙ МОДЕЛИ ПОВЕДЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ28

Ятчук К.В.

АНАЛИЗ КОРРЕЛЯЦИОННЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ КАК ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ СТАДИЯ
ПЛАНИРОВАНИЯ РАСХОДОВ31

Покровская О.Д., Псеровская Е.Д.

СТРУКТУРА ЛОГИСТИЧЕСКОГО ЦЕНТРА В АСПЕКТЕ ТЕРМИНАЛИСТИКИ (НА ПРИМЕРЕ
УГОЛЬНЫХ ТЕРМИНАЛОВ РОССИИ).....36

Покровская О.Д.

ОСОБЕННОСТИ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА СОЗДАНИЯ КЛАСТЕРОВ В ТРАНСПОРТНОЙ ЛОГИСТИКЕ39

Воробьев В.С., Каталымова К.В., Луницина Е.В.

ГОСУДАРСТВЕННО-ЧАСТНОЕ ПАРТНЕРСТВО КАК МЕТОДОЛОГИЯ СИСТЕМНОГО ПОДХОДА К
РАЗВИТИЮ ТРАНСПОРТНОЙ ИНФРАСТРУКТУРЫ ЮЖНОЙ ЯКУТИИ42

Величко Д.В., Горбунов Н.Н.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ЛИНИЙ ПО ИЗГОТОВЛЕНИЮ ШПАЛ.....45

Луницина Е.В.

ОЦЕНКА ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА И ЭКСПЛУАТАЦИИ ЖЕЛЕЗНОЙ ДОРОГИ ИКАБЬЕКАН-
ТАРЫННАХСКИЙ ГОРНО-ОБОГАТИТЕЛЬНЫЙ КОМБИНАТ49

Мурзина О.А.

ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОДЕРЖАНИЯ ПОДСИСТЕМЫ
УПРАВЛЕНИЯ В ТРАНСПОРТНОМ ХОЛДИНГЕ52

Хохлачёв И.А.

ОПТИМИЗАЦИЯ СХЕМЫ ДОСТАВКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ В ПУНКТЫ РЕКИ ИНДИГИРКА56

Мукасев А.В.

ПРОБЛЕМЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННОЙ ЭКОНОМИКИ В РОССИИ61

Спицына И.Н., Филатов И.В.

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА КОТИРОВКИ АКЦИЙ НЕКОТОРЫХ АВИА- И
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПЕРЕВОЗЧИКОВ63

Трефилова И.А., Щербаков В.А.

СТОИМОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ХОЗЯЙСТВЕННОЙ
ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ТРАНСПОРТНОЙ КОМПАНИИ67

Островский А.М., Лисютин А.М., Высоцкий Л.Ю.

ПЕРЕВОЗКА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ ГРУЗОВ, ТРЕБУЮЩИХ ОСОБЫХ УСЛОВИЙ.....70

Савченко Е.А.

УПРАВЛЕНЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ И МЕХАНИЗМЫ ЭКОНОМИЧЕСКОГО СТИМУЛИРОВАНИЯ
ПРИРОДООХРАННОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ75

Давыдов А.В., Сиденкова Е.А.

НОРМИРОВАНИЕ РАБОТНИКОВ УМСТВЕННОГО ТРУДА ОАО «РОССИЙСКИЕ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ»78

Масленников С.Н.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНКИ ИНВЕСТИЦИЙ В ИНФРАСТРУКТУРУ ОБЪЕКТОВ ВНУТРЕННЕГО
ВОДНОГО ТРАНСПОРТА82

Буровцев В.В.

СООТНОШЕНИЕ РЕГУЛЯТОРНЫХ И УПРАВЛЕНЧЕСКИХ
ФУНКЦИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИНСТИТУТОВ
НА ТРАНСПОРТЕ84

СОДЕРЖАНИЕ

Буровцев В.В.	
РАЗВИТИЕ СЕКТОРА ГОСУДАРСТВЕННЫХ УСЛУГ В АСПЕКТЕ СОКРАЩЕНИЯ ИНФРАСТРУКТУРНЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ.....	87
ПУТЬ. ПУТЕВОЕ ХОЗЯЙСТВО	
Рейнет Н.А.	
ПРИОРИТЕТНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ СЕТИ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ СИБИРСКОГО РЕГИОНА	91
Белоненко Г.В., Тусупбеков Ж.А.	
ГИДРОЛОГО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ И РЕЖИМА СТОКА РЕК ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	94
Рязанов Э.М.	
ПРИМЕНЕНИЕ УСТРОЙСТВ ПОГЛОЩЕНИЯ ЭНЕРГИИ В СЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВАХ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПАССИВНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ	97
Выжитович М.И.	
СТРОИТЕЛЬСТВО ДЮКЕРНОГО ПЕРЕХОДА ИЗ ПОЛИЭТИЛЕНОВЫХ ТРУБ ДИАМЕТРОМ 1400 мм ЧЕРЕЗ р.Обь	101
Бурдяк П.С.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НЕГОРОЧНОГО СОРТИРОВОЧНОГО УСТРОЙСТВА, ИСПОЛЬЗУЕМОГО ДЛЯ РАСФОРМИРОВАНИЯ СОСТАВОВ ОДИНОЧНЫМИ ИЗОЛИРОВАННЫМИ ТОЛЧКАМИ	104
СУДОВОЖДЕНИЕ	
Сичкарев В.И.	
К ВОПРОСУ О ВОЛНОВОМ РЕЖИМЕ СЕВЕРО-ВОСТОЧНОЙ ЧАСТИ НОВОСИБИРСКОГО ВОДОХРАНИЛИЩА	109
Комаровский Ю.А.	
СЛУЧАЙНЫЕ ПОГРЕШНОСТИ ТРЁХАНТЕННОГО GPS-КОМПАСА JLR-20 НА ОШВАРТОВАННОМ МАЛОТОННАЖНОМ СУДНЕ	112
Комаровский Ю.А., Кац В.А.	
СХОДИМОСТЬ ОЦЕНОК ТОЧНОСТИ ПЛАНОВЫХ КООРДИНАТ ПРИЁМНИКА GP-37 ВБЛИЗИ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ СТАНЦИИ	115
Седов В.А., Седова Н.А.	
НЕЧЕТКАЯ ПРОДУКЦИОННАЯ МОДЕЛЬ РАСХОЖДЕНИЯ СУДОВ СО СТАЦИОНАРНЫМИ ОБЪЕКТАМИ	119
Шахнов С.Ф.	
РАСЧЕТ ПОМЕХОЗАЩИЩЕННОСТИ РАДИОКАНАЛОВ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНОЙ ПОДСИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ СУДОВ В БАССЕЙНЕ ОБИ	122
Бимбереков П.А.	
СОПОСТАВИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО СОПРОТИВЛЕНИЮ ВОДЫ СУДОВ С ГОФРТРОВКОЙ НАРУЖНОЙ ОБШИВКИ	125
ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКА	
Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Клековкин И.В., Клековкина М.Г., Ясырова О.А.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭКСПРЕСС-МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ ВСПЫШКИ НЕФТЕПРОДУКТОВ	133
Фомичев П.А., Фомичева Е.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ. СВОБОДНЫЕ КОЛЕБАНИЯ	135
Шувалов Г.В., Клековкин И.В., Мамонов А.А., Ильин А.П.	
РАЗРАБОТКИ СИБИРСКОГО ИНСТИТУТА МЕТРОЛОГИИ ПО СОЗДАНИЮ ЭТАЛОННОВ И СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ НЕФТЕПРОДУКТОВ	140
Шувалов Г.В., Половинкин В.Н., Клековкин И.В., Клековкина М.Г., Ясырова О.А.	
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРИБОРА ДЛЯ ЭКСПРЕСС-АНАЛИЗА КОНЦЕНТРАЦИИ СВИНЦА	143
Фомичев П.А., Фомичева Е.В.	
ИССЛЕДОВАНИЕ КОЛЕБАТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ В ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ГИДРАВЛИЧЕСКОЙ ВИБРОИЗОЛИРУЮЩЕЙ ОПОРЕ. ВЫНУЖДЕННЫЕ КОЛЕБАНИЯ	146
Буйносов А.П., Шепелева И.О.	
МОДЕЛЬ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕССА УПРОЧНЕНИЯ СТАЛИ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЭЛЕКТРОВОЗОВ ПРИ НАГРЕВЕ РАВНОМЕРНО РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ИСТОЧНИКАМИ.....	150
Токарев А.О., Грачёв Г.Н., Хомяков М.Н., Гербер А.Ю.	
ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ ПРИ ЛАЗЕРНО-ПЛАЗМЕННОЙ ОБРАБОТКЕ.....	157
Пушнин В.П.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ САЖИ ПРИ ПРОХОЖДЕНИИ ВЫПУСКНОГО КЛАПАНА ДИЗЕЛЯ.....	160
Астапова Ю.О., Шульга К.С., Бубенчиков А.А.	
КОГЕНЕРАТИВНЫЕ УСТАНОВКИ	164
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКА	
Шаншурев Г.А., Будникова А.Ю.	
СРАВНЕНИЕ ОБМОТОК МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НА ПРИМЕРЕ ДВЕНАДЦАТИЗОННОЙ ОБМОТКИ И ОБМОТКИ ДАЛАНДЕРА	168

СОДЕРЖАНИЕ

Поляков И.А.	
ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ПЕРЕТОКОВ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ НА ОБЛАСТЬ ДОПУСТИМЫХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ КОНТРОЛИРУЕМЫХ СЕЧЕНИЙ	172
Муравлёв О.П., Шпет Н.А.	
ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ НАДЕЖНОСТИ И ДИАГНОСТИКА СТАТОРНЫХ ОБМОТОК ДВУХСКОРОСТНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ	174
Довгун В.П., Сташков И.А.	
АНАЛИЗ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В СЕТЯХ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	178
Однокопылов Г.И., Розаев И.А.	
ВОССТАНОВЛЕНИЕ РАБОТОСПОСОБНОСТИ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В АВАРИЙНЫХ РЕЖИМАХ	181
Дёмин Ю.В., Ивашкин С.В., Иванов Г.В., Будкин А.С., Демьянчук А.В., Глаголев А.М.	
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УСТАНОВКИ ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ГОЛОЛЁДА ПОСТОЯННЫМ ТОКОМ	185
Однокопылов Г.И., Брагин А.Д.	
АЛГОРИТМЫ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ В НЕПОЛНОФАЗНЫХ РЕЖИМАХ РАБОТЫ	188
Палагушкин Б.В., Дёмин Ю.В., Елизаров Д.А., Алаев Е.Г., Власов И.Л., Герасименко А.С., Денчик Ю.М.	
АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ СПЕКТРАЛЬНЫХ СОСТАВЛЯЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ	191
Бакланов А.А., Мельк В.О., Есин Н.В.	
ИЗМЕНЕНИЕ АЛГОРИТМА РАБОТЫ ВЫПРЯМИТЕЛЬНО-ИНВЕРТОРНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОВОЗА ПЕРЕМЕННОГО ТОКА	196
Москалев Ю.В., Серкова Л.Е.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ	198
Петров Н.В.	
УЛУЧШЕНИЕ УСЛОВИЙ ПУСКА МОЩНЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ	202
Рогов Г.В.	
УНИВЕРСАЛЬНАЯ МОДЕЛЬ УСТРОЙСТВ УПРАВЛЕНИЯ ПОТОКАМИ МОЩНОСТИ В УСТАНОВИВШИХСЯ РЕЖИМАХ	206
Антонов А.И., Денчик Ю.М., Зубанов Д.А., Клеутин В.И., Руппель А.А., Никишин А.С.	
АНАЛИЗ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА СООТВЕТСТВИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ОТКЛОНЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ ТРЕБОВАНИЯМ ГОСТ 54149-2010	210
Князев О.А., Корнеев К.В., Солнцев Г.Е.	
МЕТОДИКА СОСТАВЛЕНИЯ СХЕМЫ ВОЛНОВОЙ ОБМОТКИ С ДРОБНЫМ ЧИСЛОМ ПАЗОВ НА ПОЛЮС И ФАЗУ	213
Фишов А.Г., Мукатов Б.Б.	
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕВЕНТИВНОГО ДЕЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ В РЕЖИМАХ ПОВЫШЕННОГО РИСКА	217
Яковлев Д.А.	
МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ СО СТОХАСТИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ	221
Черномзав И.З., Нефёдов К.А.	
УПРАВЛЕНИЕ МОЩНОСТЬЮ ЭНЕРГОБЛОКОВ И ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ЭНЕРГОСИСТЕМ. РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЯ	224
Черномзав И.З.	
ОБ ОДНОМ СПОСОБЕ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ СЛОЖНОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ СЛЕЖЕНИЯ ЗА КОЭФФИЦИЕНТОМ ЗАПАСА СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ В ДОАВАРИЙНОМ И ПОСЛЕАВАРИЙНОМ РЕЖИМАХ СРЕДСТВАМИ УПРАВЛЕНИЯ МОЩНОСТЬЮ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ	228
Лизалек Н.Н., Тонышев В.Ф., Мочалин К.С., Бородин Д.Н.	
ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРЫ НЕУСТОЙЧИВЫХ ВЗАИМНЫХ ДВИЖЕНИЙ ЭНЕРГОСИСТЕМ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОСТАВА ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ	233
Тузлукова Е.В., Макаровский С.Н.	
УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕНИЕМ И ПОТОКАМИ РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ В МОСКОВСКОЙ ЭНЕРГОСИСТЕМЕ	240
Лизалек Н.Н., Вторушин А.С., Аржанников С.Г., Бородин Д.Н.	
ОЦЕНКА И ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ УПРАВЛЯЕМОМ ПЕРЕХОДЕ К ПОСЛЕАВАРИЙНОМУ РЕЖИМУ С НОРМИРОВАННЫМ ЗАПАСОМ СТАТИЧЕСКОЙ УСТОЙЧИВОСТИ	244
Брухис Г.Л., Бутина Л.Г., Воронин В.А., Жмурко В.Е., Хозяинов Н.В.	
ОСОБЕННОСТИ РЕКОНСТРУКЦИИ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОУЗЛА КАЛИНИНСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ	250
Рубцов А.А.	
ОЦЕНКА И ОГРАНИЧЕНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНОВЛИВАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТОКООГРАНИЧИВАЮЩИХ РЕАКТОРОВ В СЕТЯХ 110-220 кВ	255
Данилов М.В., Маковцев В.А., Чершова В.О., Бородин Д.Н.	
ОСОБЕННОСТИ НАЗНАЧЕНИЯ ДОПУСТИМЫХ ПЕРЕТОКОВ ПО ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧЕ 220 кВ КУРЕЙСКАЯ ГЭС-УСТЬ-ХАНТАЙСКАЯ ГЭС-НОРИЛЬСК	259

СОДЕРЖАНИЕ

Ландман А.К., Попов Г.П., Данилов М.В., Маковцев В.А.	
ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ В ОБЪЕДИНЕННОЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ СИБИРИ НА ПРИМЕРЕ ЛОКАЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ НАРУШЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ: ПС 1150 кВ ИТАТСКАЯ, БОГУЧАНСКОЙ ГЭС, САЯНО-ШУШЕНСКОЙ ГЭС, ХАРАНОРСКОЙ ГРЭС	264
Жмурко В.Е., Порошкова Ю.А., Хозяинов Н.В.	
ОПЫТ ПРОЕКТИРОВАНИЯ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЧЕБОКСАРСКОЙ ГЭС	269
Федосов А.Н., Черченко С.В.	
РЕЗОНАНСНЫЕ ПРОЦЕССЫ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ СВЕРХВЫСОКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ЛИНЕЙНЫМИ РЕАКТОРАМИ И СПЕЦИАЛИЗИРОВАННЫЕ АВТОМАТИЧЕСКИЕ ОГРАНИЧИТЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ	274
Глазырин Г.В., Твердохлебов Н.Н.	
ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ МЕЖДУ АГРЕГАТАМИ ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ С УЧЕТОМ НАПОРА НЕТТО.....	281
Федосов А.Н., Ким О.В.	
НОВЫЕ ПОДХОДЫ В РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ ФИКСАЦИИ ТЯЖЕСТИ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ.....	284
Чершова В.О.	
ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ НА ШИНАХ КОМПЛЕКСНОЙ НАГРУЗКИ В РЕЖИМЕ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ЗАДАЧ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ	287
Боровиков Ю.С., Гусев А.С., Андреев М.В., Уфа Р.А.	
ПОЛИГОН ДЛЯ ОТРАБОТКИ РЕШЕНИЙ ПО ПОСТРОЕНИЮ АКТИВНО-АДАПТИВНЫХ СЕТЕЙ НА БАЗЕ ВСЕРЕЖИМНОГО МОДЕЛИРУЮЩЕГО КОМПЛЕКСА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ	292
Рысов Д.В., Рысов П.В., Федоров В.К., Федоров Д.В.	
ВОЗНИКОВЕНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО РЕЗОНАНСА И ИХ ИССЛЕДОВАНИЕ.....	296
Панасецкий Д.А., Осак А.Б., Бузина Е.Я.	
МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОЙ НАГРУЗКИ С ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫМ ПРИВОДОМ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ.....	299
Осак А.Б., Панасецкий Д.А., Бузина Е.Я., Шалагинов А.И.	
АНАЛИЗ РЕЖИМНОЙ НАДЕЖНОСТИ В РЕАЛЬНОМ ВРЕМЕНИ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ РЕЖИМНОЙ АВТОМАТИКИ С ФУНКЦИЯМИ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ.....	304
Воронин В.А., Иванов И.А., Любарский Д.Р., Косолапов А.М., Акинин А.А.	
ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РЕШЕНИЯ ПО ОГРАНИЧЕНИЮ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ И ПЕРЕХОДНЫХ ВОССТАНАВЛИВАЮЩИХСЯ НАПРЯЖЕНИЙ В СЕТЯХ 110-220 кВ НА БАЗЕ ВАКУУМНЫХ УПРАВЛЯЕМЫХ РАЗРЯДНИКОВ	308
Васильев В.В.	
ПРОЕКТИРОВАНИЕ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ В УСЛОВИЯХ ПРИМЕНЕНИЯ СТАНДАРТА МЭК 61850	313
Глазырин В.Е., Яворский В.П.	
ВЫБОР УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ УСТРОЙСТВ ОГРАНИЧЕНИЯ ПЕРЕГРУЗКИ ОБОРУДОВАНИЯ	316
Басараб И.А.	
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЙ СИНХРОНИЗАТОР В СОСТАВЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НА УСТЬ-ХАНТАЙСКОЙ ГЭС	319
Глазырин В.Е., Танфильев О.В.	
О ВЫБОРЕ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОЙ ДИСТАНЦИОННОЙ ПРОВЕРКИ АВТОМАТИКИ ЛИКВИДАЦИИ АСИНХРОННОГО РЕЖИМА.....	323
Глазырин Г.В., Шаюк С.М., Присекин А.И.	
РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ГРУППОВОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ АКТИВНОЙ МОЩНОСТИ ТЕПЛОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ	326
Федосов А.Н., Петрушков М.В., Ташлыков Д.С., Чумаков В.А.	
ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ И ОСОБЕННОСТИ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМА ВЫБОРА ОЧЕРЕДНОСТИ ОТКЛЮЧАЕМОЙ ГЕНЕРАЦИИ И НАГРУЗКИ	330
Ландман А.К., Петрушков М.В., Петров А.Э., Сакаев О.О., Субботин-Чукальский А.В.	
ПОДХОДЫ К РАЗРАБОТКЕ ОТКАЗОУСТОЙЧИВОЙ РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО УПРАВЛЕНИЯ	335
Данилов М.В., Петров А.Э., Чумаков В.А.	
СТРУКТУРА, НАЗНАЧЕНИЕ И ВАРИАНТЫ ОРГАНИЗАЦИИ АДАПТИВНОЙ СИСТЕМЫ СПЕЦИАЛЬНОЙ АВТОМАТИКИ ОТКЛЮЧЕНИЯ НАГРУЗКИ	341
Вторушин А.С., Аржанников С.Г., Захаркин О.В.	
СТРУКТУРИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ОРГАНИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЦЕПОЧКИ ВЫБОРА УПРАВЛЯЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЙ В ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМАХ ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ	345
Глазырин В.Е., Никитин А.В.	
АВТОМАТИКА ОГРАНИЧЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ НАПРЯЖЕНИЯ. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, СТРУКТУРЫ И АЛГОРИТМОВ	349
Лизалек Н.Н., Жидков В.В., Смолина Е.Г.	
ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДОАВАРИЙНОЙ ИНФОРМАЦИЕЙ УПРАВЛЯЮЩЕГО ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОГО КОМПЛЕКСА АВТОМАТИКИ ДОЗИРОВКИ ВОЗДЕЙСТВИЯ	353
Юшкова Т.Н.	
СОЗДАНИЕ И МОДЕРНИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ СБОРА И ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ КОМПЛЕКСА ПРОТИВОАВАРИЙНОЙ АВТОМАТИКИ ЗАПАДНОЙ И ЦЕНТРАЛЬНОЙ ЧАСТИ ОЭС СИБИРИ	357

СОДЕРЖАНИЕ

Рогов Г.В., Долгов А.П., Востряков М.Ю.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМАХ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ
ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ 359

Ковалева Н.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СЕТИ 0,4-2 кВ
УСТАНОВКИ МЕХАНИЗИРОВАННОЙ ДОБЫЧИ НЕФТИ ИЗ ГЛУБИННОЙ СКВАЖИНЫ 362

Стручкова Н.С.

УСКОРЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ УСТРОЙСТВ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ОТКАЗОВ ВЫКЛЮЧАТЕЛЕЙ КАК
ВОЗМОЖНОЕ МЕРОПРИЯТИЕ ПО ПРЕДОТВРАЩЕНИЮ НАРУШЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ
УСТОЙЧИВОСТИ ПРИ ЗАТЯНУВШИХСЯ КОРОТКИХ ЗАМЫКАНИЯХ 367

Телегин А.В., Ширковец А.И., Сенченко В.А., Кириченко В.С., Денчик Ю.М.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ АВАРИЙНЫХ СОБЫТИЯХ В ГОРОДСКОЙ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ СИСТЕМЫ РЕГИСТРАЦИИ 370

Манчук Г.Р., Горелов С.В., Горелов В.П.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ И ПРОМЫШЛЕННЫХ
ОБЪЕКТОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ РАЙОНАХ С СУРОВЫМ КЛИМАТОМ 375

ЭКОЛОГИЯ

Порсев Е.Г.

РОЛЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ
АГРОЭКОСИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КРИТЕРИИ ОЦЕНКИ ИХ
ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ 379

Савченко Е.А., Буинцева Ю.М.

УПРАВЛЕНИЕ ЗАТРАТАМИ НА ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ В СТРУКТУРНЫХ
ПОДРАЗДЕЛЕНИЯХ ОАО «РЖД» 383

Ряполова Н.Л.

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМАЯ ТЕХНОГЕННАЯ НАГРУЗКА НА ОКРУЖАЮЩУЮ ПРИРОДНУЮ СРЕДУ
НА ТЕРРИТОРИИ ХАНТЫ-МАНСИЙСКОГО АВТОНОМНОГО ОКРУГА (ХМАО-ЮГРЫ) 386

Рошина Е.В., Тарасенко С.Я.

ОЦЕНКА СТОКА ОРГАНИЧЕСКИХ ЭКОТОКСИКАНТОВ С ВОДОСБОРА МАЛЫХ РЕК ГОРОДА
НОВОСИБИРСКА 388

Порсев Е.Г.

РОЛЬ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ В ПОВЫШЕНИИ УСТОЙЧИВОСТИ
АГРОЭКОСИСТЕМ. ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ АГРОЭКОСИСТЕМ И АНАЛИЗ ФАКТОРОВ
ЕЁ ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ 391

Спиренкова О.В., Бучельников М.А., Панов А.В.

ВЛИЯНИЕ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ВТОРОЙ И ТРЕТЬЕЙ ТЕПЛОЭЛЕКТРОЦЕНТРАЛЕЙ ГОРОДА
НОВОСИБИРСКА НА СОСТОЯНИЕ СНЕЖНОГО ПОКРОВА МИКРОРАЙОНА «ЗАТОН» 396

УСЛОВИЯ РАЗМЕЩЕНИЯ МАТЕРИАЛОВ

Уважаемые коллеги!

Редакция журнала «Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока», приглашает Вас опубликовать результаты Ваших научных исследований в №1 журнала за 2015 год. Материалы (заявку, статью, рецензию) просим высыпать ответственному секретарю журнала Коновалову В.В. по электронной почте: konovalov@nsawt.ru. Оригиналы по почте на адрес Академии с пометкой для Коновалова В.В. Прием материалов в очередной номер журнала заканчивается 01 марта 2015 г.

Заявка на публикацию научной статьи в №1 журнала за 2015 год

	на русском языке	на английском языке
Название статьи (без каких-либо сокращений и символов)		
Аннотация (до 300 знаков)		
Ключевые слова (не более 10 слов)		
Организация (полное юридическое название и полный почтовый адрес)		
Автор(ы) (ФИО полностью, ученая степень, занимаемая должность)		
Координаты для обратной связи (ФИО полностью, адрес электронной почты, мобильный телефон*)		X

*-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 (объем 3-5 страниц А4, шрифт Arial размер 14, одинарный интервал, поля 2 см).
- 2 Заявка (оригинал) и ее электронная версия в формате MS WORD 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 и др.), 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 24.12.2014 г. с оригинал-макета
Бумага офсетная №1, формат 60x84 1/8, печать трафаретная – Riso.
Усл. печ. л. 47,1; тираж 1050 экз. Заказ №
Цена договорная.

ФГБОУ ВО «Новосибирская государственная академия водного транспорта»
(ФГБОУ ВО «НГАВТ»), 630099, г. Новосибирск, ул. Щетинкина, 33, тел. (383)222-64-68,
факс (383)222-49-76

Отпечатано в издательстве ФГБОУ ВО «НГАВТ»

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ №ФС77-22440 выдано 20.12.2005 г.

ISSN 2071-3827

Подписной почтовый индекс 62390