



**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

СБОРНИК ТРУДОВ V ВСЕРОССИЙСКОЙ (С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ,
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ,
АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ

ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

**СБОРНИК ТРУДОВ V ВСЕРОССИЙСКОЙ (С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ,
НАУЧНО-ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ,
АСПИРАНТОВ И СТУДЕНТОВ**

Челябинск

2021

УДК 656
ББК 39
С 56

Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения: сборник трудов V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов / [науч. ред. А.Н. Ткачёв, А.М. Ромодина]. – Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет», 2021 – 253 с.

Научные редакторы – А.Н. Ткачёв, к.т.н, доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»; А.М. Ромодина, зав. лабораторией социально-экономических исследований, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет».

Редактор-корректор – К.М. Фролова, специалист редакционно-издательского отдела ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет».

В сборник включены статьи участников V Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов «Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения» состоявшейся в г. Челябинске 25 февраля 2021 г.

ISBN 978-5-6044299-5-2

© ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет», 2021

© Коллектив авторов, 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

Актуальные задачи, проблемы и их решения на транспорте	
Бойкачев М.А. Перспективы развития «зеленого» транспорта в Республике Беларусь	5
Бондарев Э.С. Анализ технологий шлифования рельсов за рубежом	13
Власов Д.В., Шаихов Р.Ф. Разработка конструкционной схемы малогабаритного гидравлического экскаватора	22
Глотов Н.В., Вдовин А.В. Определение требуемых параметров воздушной струи пневмоснегоочистительных машин	26
Гриценко А.В., Власов Д.Б., Гордюшкин А.В., Тарасов Д.Д. Контроль технического состояния датчиков массового расхода воздуха на автомобиле	36
Гриценко А.В., Гордюшкин А.В., Ваулин М.В. Диагностирование элементов системы впуска автомобилей	42
Гуськов А.А., Анохин С.А., Залукаева Н.Ю. Современные тенденции развития складских комплексов в транспортно-логистической системе Центрально-Чернозёмного района России	46
Демиденко Н.Д. Перспективы электрификации транспортного сектора	56
Дирко С.В., Скорогод Е.В. Цифровизация контейнерных грузоперевозок: выгоды и проблемы	61
Захаров Г.И., Чабанова Е.В. Проблемы повышения пропускной способности шлюзов и пути их решения	67
Ким В., Барский И.В., Чуйков А.С. Управление тяговыми мобильными роботами	74
Козлович А.В. Силы сопротивления, возникающие при движении мобильной транспортной платформы на воздушной подушке	82
Меньшенин А.С. Оценка технического состояния систем ДВС по результатам газоанализа	93
Мухамадиев Э.Г., Попова С.Ю. Обоснование потребности в автомобилях для реализации транспортных процессов по минимальным затратам	99
Полетаев Д.А., Соколенко Б.В., Скиданов И.К. Инновационная остановка общественного транспорта	105
Татаринцев В.А., Буркун А.В., Дробков К.В. Оценка рисков и обеспечение безопасности объектов железнодорожного транспорта	108
Турпищева М.С., Климова Е.В., Арцыбашев А.К. Вопросы повышения надежности процессов транспортировки контейнеров на автоплатформах	118
Штрекер Д.С., Логинова Д.В., Волков В.А., Барский И.В. Регулирование параметров ударных импульсов для испытания различных модулей транспортной промышленности	122
Штрекер Д.С., Калымбеков Ш., Ларичкин Д.А., Петров Д.А. Моделирование ударных нагрузок, возникающих при перемещении объектов на наземном транспорте	129
Актуальные задачи, проблемы и их решения в электроэнергетике и электротехнике	
Афонькина В.А., Ткачёв А.Н., Рычкова Н.М., Кривошеева Е.И. Перспективы развития систем автоматического управления тепловыми процессами на предприятиях АПК	135
Буторин В.А., Царев И.Б., Ткачёв А.Н., Хитев С.А. Создание аварийного резерва запасных частей районов электрических сетей исходя из теории управления запасами	139
Гайнутдинов Р.Р., Менделеев Д.И., Марьин Г.Е. Повышение эффективности комбинированной системы оборотного охлаждения	144
Дюдяев И.А., Майорова В.В. Анализ методов повышения качества ядерного топлива ВВЭР	154
Епишков Е.Н., Уразов С.И., Ткачёв А.Н. Методика расчёта среднего потребления электрической энергии помещения с системой лучистого обогрева на базе плёночных электронагревателей	164
Кошелев М.М., Ульянов В.В., Харчук С.Е., Кремлёва В.С. Водородная очистка контуров реакторных установок и исследовательских стендов со свинецсодержащим теплоносителем	172
Лоскутов И.А. Усовершенствованное уравнение расчета времени электромонтажа оборудования для АЭС	181
Местников Н.П. Разработка математического моделирования по оценке энергоэффективности ветро-солнечных электростанций в условиях севера	185
Пустоветов М.Ю. К вопросу о размерах заземлителя на катере	192
Селунский В.В., Ткачёв А.Н., Вершинин В.Д. Усовершенствование установки электростатического копчения с целью повышения качества рыбных продуктов	195
Стефановский А.Б. О параметрах «обучающих кривых», применяющихся для прогнозов в энергетике	205

Ульянов В.В., Кошелев М.М., Кремлёва В.С., Харчук С.Е. Обоснование возможности переработки отходов, содержащих ионообменные смолы (в том числе радиоактивные) в жидком металле	212
Ульянов В.В., Кошелев М.М., Кремлёва В.С., Харчук С.Е. Анализ накопления шлаков на основе оксида свинца при попадании газообразного кислорода в циркуляционные контура реакторных установок со свинецсодержащими теплоносителями	219
Харчук С.Е., Ульянов В.В., Кошелев М.М., Кремлёва В.С. Изучение влияния микротечей парогенераторов на состояние ядерных энергетических установок со свинецсодержащим теплоносителем	229
Худяков И.Н., Соловьев И.И. Техническая диагностика силовых трансформаторов в режиме эксплуатации	239
Ильин Ю.П., Белов А.В., Ткачёв А.Н., Кузьмина Н.Ю., Скородумова Н.В. Применимость вероятностных методов к расчету несимметричных режимов сельских распределительных сетей	243
Ильин Ю.П., Белов А.В., Ткачёв А.Н., Кузьмина Н.Ю., Скородумова Н.В. Работа устройств защитного отключения в условиях несимметрии	248

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ НА ТРАНСПОРТЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ «ЗЕЛЕНОГО» ТРАНСПОРТА В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Бойкачев М.А. – старший преподаватель, УО «Белорусский государственный университет транспорта»

Аннотация

В статье рассматриваются принципы экологического развития страны, направления эффективности экологической политики в целом. Приведены примеры мер, принимаемых для реализации программы перехода на экологический транспорт. Рассмотрены преимущества и недостатки перехода к повсеместному использованию «зеленого» транспорта. Затронуты основные проблемы недостаточно быстрого развития транспортной отрасли в направлении экологизации.

При рассмотрении возможностей перспективного развития транспортной сферы страны, необходимо изучить ее территориальные, географические, социальные и политические характеристики. Такой анализ позволит установить потенциал государства и сформировать наиболее подходящие направления дальнейшего совершенствования в сформировавшихся на текущий момент условиях.

Среди отличительных особенностей Республики Беларусь можно выделить ее выгодное географическое расположение в центре Европы и наличие границы с такими крупными государствами, как Литва, Латвия, Украина, Польша и Российская Федерация. Территория представлена в основном равнинными местностями без ярко выраженных горных массивов и природных рубежей.

Такие географические и территориальные черты благоприятствуют прокладке новых транспортных магистралей и интенсивному развитию международных экономических связей. Так, например, через Беларусь проходит один из крупнейших магистральных путей Евразии, что делает ее важным торговым партером и одновременно транзитным транспортным коридором между странами Союза Независимых Государств (СНГ) и Европы.

Кроме того, Республика Беларусь относится к числу государств, политика которых социально ориентирована и направлена на экологизацию. Социальная

ориентация заключается в предоставлении всевозможной помощи гражданам, в том числе в форме услуг бесплатной медицины и образования, денежных средств пенсионного фонда и финансовой помощи при рождении детей. Экологическая политика реализуется посредством утверждения соответствующих указов, постановлений и инструкций, проведения общественных экологических мероприятий, установления налоговых льгот для физических и юридических лиц и др¹.

В основе экологической политики лежит Закон «О возобновляемых источниках энергии» от 27.12.2010 № 204-З (в ред. от 09.01.2018 г. № 91-З), в котором заложены следующие принципы экологического развития страны:

- проведение мероприятий, способствующих устойчивому развитию экологической («зеленой») энергетики;
- приоритетное использование возобновляемых источников энергии при производстве электроэнергии;
- внедрение экологических технологий в различные отрасли народного хозяйства;
- государственная поддержка экологического развития общества².

Помимо принятия соответствующих законодательных и нормативных актов внутри страны, Республика Беларусь также стала развиваться в области экологии на международном уровне и в 2015 г. приняла участие в одной из конференций Конвенции ООН, рассматривающих вопросы изменения климата. В ходе ее проведения была изучена резолюция «Преобразование нашего мира: Повестка дня в области устойчивого развития до 2030 года» и подписано Парижское соглашение. Основными для данного соглашения были поставлены следующие цели:

- достижение международной экологической целостности с помощью совместной работы стран-участниц соглашения;
- развитие «зеленой» экономики за счет широкого использования возобновляемых источников энергии;

¹ Указ Президента Республики Беларусь от 24.09.2019 № 357 «О возобновляемых источниках энергии» [Электронный ресурс] / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь / URL: <http://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31900357&p1=1> (Дата обращения 19.01.2021).

² Закон «О возобновляемых источниках энергии» от 27.12.2010 г. № 204-З / [Электронный ресурс]. URL: https://kodeksy-by.com/zakon_rb_o_vozobnovlyaemyh_istochnikah_energii.htm (Дата обращения 19.01.2021).

- поощрение внедрения инновационных экологических технологий в производственную среду и повседневную жизнь человека;
- разработка мероприятий по минимизации негативного влияния изменения климата.

Таким образом, в 2016 г. Беларусь стала первым полноправным участником Парижского соглашения среди стран СНГ. К ее обязательствам, принятым в соответствии с положениями соглашения, относятся снижение выбросов парниковых газов к 2030 г. на 28% по сравнению со значением показателя 1990 г. и недопущение их дальнейшего роста (рис. 1) представлена динамика выбросов парниковых газов в эквиваленте CO₂³.

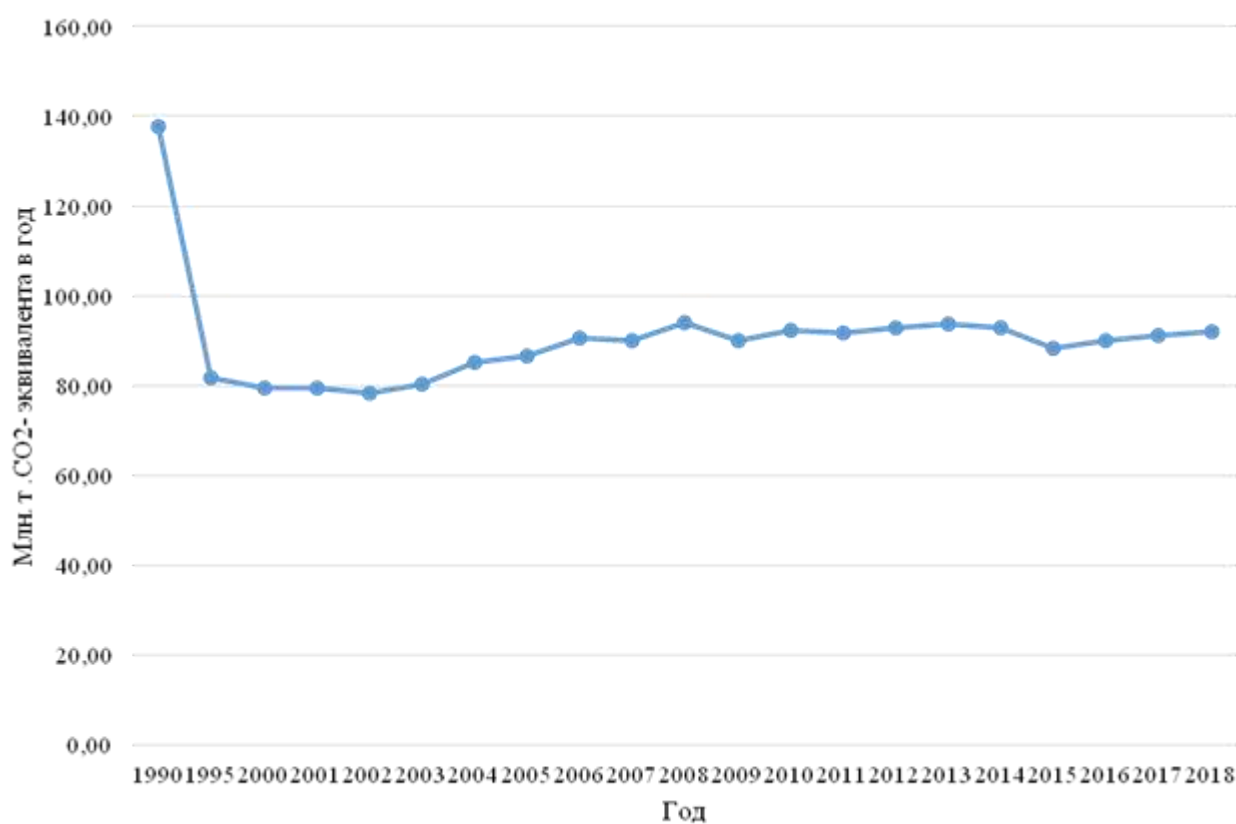


Рис. 1. Динамика выбросов парниковых газов на территории Республики Беларусь за 1990-2018 гг. в эквиваленте CO₂

По данным, представленным на рис.1, можно заметить устойчивое снижение объемов выбросов за последние десятилетия. Сокращение на 28% по

³ Выбросы парниковых газов // Национальный статистический комитет Республики Беларусь // [Электронный ресурс]. URL: belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/makroekonomika-i-okruzhayushchaya-sreda/okruzhayushchaya-sreda/sovместnaya-sistema-ekologicheskoi-informatsii2/b-izmenenie-klimata/b-3-vybrosy-parnikovyyh-gazov (Дата обращения 19.01.2021).

сравнению с 1990 г. предполагает достижение показателя менее 99,2 млн. т. В 2018 г. этот показатель составил 91,9, что свидетельствует о наличии положительного эффекта от принимаемых государством мер в рамках экологической политики государства.

Однако необходимо изучить список мероприятий, проводимых в данном направлении, чтобы судить об эффективности экологической политики в целом. В этот перечень, несомненно, включается снижение доли углеводородного транспорта и плавный переход к электрическому виду. На данный момент в государстве формируется комплексная программа перехода всего общественного транспорта крупных городов на электробусы, электропоезда, трамваи, троллейбусы и иные формы электрического транспорта. В связи с этим проводится процедура подписания нормативных правовых актов, регулирующих данную сферу.

В качестве примера мер, принимаемых для реализации программы перехода на экологический транспорт, можно рассмотреть проект, проведенный в Несвиже. Согласно данному проекту на территории Дворцово-паркового комплекса Радзивиллов инициативной группой была проведена демонстрационная поддержка природоохранных мероприятий. Инициативой были рассмотрены существующие международные и государственные экологические проблемы с указанием возможных причин их возникновения, предложены способы их решений, а также приведены преимущества природоориентированного отношения к потреблению энергии.

Данное мероприятие включает в себя демонстрацию преимуществ экологически чистого транспорта, размещение социальной рекламы по экологизации общества и использованию «зеленого» транспорта, а также широкая агитационная кампания по распространению информации о нем. С этой целью для перевозки пассажиров планируется приобретение «зеленого» транспорта, территория комплекса объявляется зоной «зеленого» транспорта, а проведение туристических экскурсий проводится с использованием приобретаемых в рамках проекта транспортных средств, а населению предлагаются услуги их проката.

Следует отметить, что научная сфера Республики Беларусь также принимает непосредственное участие в экологизации общества. Вовлечение в экологическое развитие страны происходит за счет создания собственных

инновационных разработок в области машиностроения, организации транспортной среды и производства электроэнергии. В качестве примера можно рассматривать компанию «Белкоммунмаш», которая активно занимается проектированием и производством электробусов. По состоянию на 2020 г. парк электробусов в Минске составил 80 единиц техники. В дальнейшем планируется развитие маршрутного движения электробусов во всех крупных городах Беларуси. Можно также отметить, что новые виды выпускаемых автотранспортных средств, по мнению руководства компании, мощнее по техническим характеристикам и безопаснее для окружающей среды.

Помимо электробусов, к экологически чистым видам транспорта также относятся гелио- и воздухомобили, гибридные автомобили и электромобили (электрокары), работающие как от зарядной сети, так и от солнечных батарей. Указанные модели функционируют на экологически чистых видах энергии, поэтому не нуждаются в топливе. Не стоит забывать и об активном образе жизни населения, пропагандируя пешеходное передвижение, передвижение с использованием велосипедов, роликовых коньков, скейтбордов и т.п.

Преимуществами перехода к повсеместному использованию «зеленого» транспорта являются следующие факторы:

- уменьшение объема выбросов парниковых газов, вызываемых транспортными средствами;
- достижение углеродной нейтральности;
- сокращение доли транспортных средств, требующих больших энергозатрат;
- использование горючего, содержащего незначительное долю углерода;
- активная электрификация общественного и личного транспорта;
- разработка и производство более доступных моделей аккумуляторов энергии.

Нельзя не заметить, что упомянутые ранее зарядные станции и аккумуляторы энергии должны соответствовать требованиям международных стандартов. Это обусловлено географическим расположением страны и проходящим через ее территорию транзитной транспортной магистралью, по которой проезжает транспорт различных стран. В связи с этим возникает необходимость ведения единых подходов к установке зарядных станций и

оснащения станций техобслуживания. Успешное развитие «зеленого» транспорта и всей его инфраструктуры сделает Республику Беларусь надежным поставщиком транспортных средств, способным передавать накопленные знания и опыт другим странам и привлекать инвестиции для расширения производства.

Еще одним обязательным мероприятием, без которого довольно сложно достичь экологической безопасности общества, является переход на альтернативную энергетику и активное использование возобновляемых источников энергии. Такие меры способствуют сбалансированности экономики и экологии государства, повышают эффективность экологической политики, а также снижают уровень зависимости от топливно-энергетических ресурсов, закупаемых у других стран.

В целях улучшения экологического состояния страны важно развивать все отрасли национальной экономики в совокупности, при этом учитывая особенности каждой отрасли в отдельности. Именно поэтому использование альтернативной энергии необходимо рассматривать не только на примере транспортной сферы. Иными словами, для эффективного внедрения результатов использования возобновляемых источников энергии может служить не только переход на электрический транспорт, но и строительство энергоэффективного жилья с установкой солнечных батарей, ветряков и др. источников энергии, что позволит более экономно использовать энергию. Также положительно как на экологическую политику, так и на промышленную сферу будет влиять широкое внедрение низкоуглеродных и безуглеродных технологий, что способствует сокращению выбросов загрязняющих веществ в атмосферу.

Для повышения заинтересованности населения в соблюдении принципов экологии целесообразным со стороны государства будет введение углеродного налога и создание национального углеродного рынка. Такой подход заставит более обдуманно относиться к расходам энергии и по-другому взглянуть на проблемы загрязнения окружающей среды и низкой энергоэффективности.

Необходимо также отметить, что для принятия решений об изменении направленности национальной экономики требуется провести тщательное аналитическое исследование с выявлением положительных и отрицательных результатов, которое позволит сформировать четкое представление преимуществ экологизации экономики. Таким образом, «зеленая» экономика

позволит стимулировать национальный рост Беларуси за счет развития следующих факторов:

- производительность, повышаемая в результате роста эффективности и рациональности использования ресурсов и природных активов, уменьшения отходов и потребления энергии;

- инновационные технологии, развитию которым способствуют политическая поддержка и мероприятия, направленные на создание ценностей новыми технологиями и решение экологических проблем;

- новые рынки, создаваемые посредством стимулирования спроса на зеленые технологии, товары и услуги. Создание новых рынков также способствует расширению рынка труда за счет предоставления новых рабочих мест;

- доверие, рост которого важен как со стороны населения, так и со стороны инвесторов, в том числе иностранных партнеров. Доверие населения способствует политической поддержке, а со стороны потенциальных инвесторов – развитию технологий и предложению новых идей по решению экологических вопросов;

- стабильность национальной экономики и политики балансирует макроэкономические условия на длительный период времени, уменьшая риски инфляционных процессов и повышая сохранность государственного бюджета.

На основании всего рассмотренного ранее, можно сделать вывод о серьезном подходе со стороны государства к уровню экологии страны и выполнению взятых на себя обязательств по Парижскому соглашению. Это подтверждается активной реализацией мероприятий в направлении экологизации, результаты которых заметны уже на сегодняшний день. К ним относятся увеличение доли «зеленого транспорта» в общем объеме транспортных средств, повсеместное внедрение инновационных технологий, характеризующихся безопасностью для природы, повышение уровня образованности населения по вопросам экологии и т. д.

Несомненно, помимо положительных результатов имеются и недостатки. Среди наиболее распространённых проблем реализации экологической политики выделяются нехватка пунктов зарядки для электромобилей, недостаточный бюджет для совершенствования моделей общественного транспорта, отсутствие повсеместной разметки для велотранспорта и иные.

Так, недостаточность бюджета не позволяет повсеместно обновлять общественный транспорт, поэтому на данный момент времени точно не установлен период, через который популярные электробусы будут пущены в эксплуатацию в других городах страны. В отношении личного транспорта стоит проблема в цене его приобретения и удобства зарядки во время движения. Основной причиной этого является недостаточно развитая инфраструктура электрочарядных станций и высокие ввозные пошлины на электромобили.

Говоря о недостаточном количестве пунктов зарядки, необходимо сказать, что данный вопрос обсуждается на государственном уровне. В 2020 г. в Минске планируется построить 147 станций для зарядки электромобилей, тогда как в настоящий момент их насчитывается 132 единицы. Однако в других городах количества станций значительно ниже.

Таким образом, основной проблемой недостаточно быстрого развития транспортной отрасли в направлении экологизации является недостойный уровень государственной поддержки. Стоит отметить, что во многих странах Евросоюза наблюдается похожие проблемы с «зеленым» транспортом (высокая стоимость, неразвитая инфраструктура и др.), однако, со стороны правительств принимаются соответствующие меры. Например, в Германии была введена скидка на приобретение электромобилей по согласованию с автоконцернами. Ее размер составил:

- для покупателей, приобретающих автомобиль дешевле 40 тысяч евро (123024 бел. руб.) – 6 тысяч евро (18453,6 бел. руб.);
- для покупателей, приобретающих автомобиль в диапазоне от 40 до 60 тысяч евро (от 123 024 до 184536 бел. руб.)– 5 тысяч евро (15378 бел. руб.).

В Украине в этих целях был отменен налог на ввоз автомобилей, приняты усилия по развитию инфраструктуры, введены зеленые идентификационные номера машин с предоставлением им отдельных парковочных мест. Обязательным также стало оборудование зарядками для электромобилей как минимум 5% машино-мест на парковках, строящихся или реконструируемых зданий.

В связи с этим Республике Беларусь для дальнейшего устойчивого развития в направлении «зеленой» экономики необходимо провести ряд мероприятий, направленных на развитие транспортной инфраструктуры и

стимулирование населения на пользование экологически чистым транспортном в повседневной жизни.

АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЙ ШЛИФОВАНИЯ РЕЛЬСОВ ЗА РУБЕЖОМ

Бондарев Э.С. – аспирант, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Научный руководитель: Ильиных А.С. – д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения»

Аннотация

В рамках написания НКР по теме «Совершенствование организационной структуры производственного процесса шлифования рельсов» был произведён анализ шлифования рельсов в условиях железнодорожного пути. В рассматриваемой статье приведены статистические данные, а также требования, предъявляемые к процессу шлифовки рельсов. Материал получен по результатам анализа зарубежной научной литературы, а также по итогам делового общения с представителями железнодорожных компаний.

Во все времена железнодорожный транспорт имел огромное значение в экономическом развитии во всех странах мира, поскольку организованная на должном уровне железнодорожная сеть являлась гарантом развития других отраслей государства.

Шум, создаваемый при движении подвижного состава, в основном зависит от качества шероховатостей рельса и колеса, а также от волнообразного износа рельсов. В этой связи акустическое шлифование рельсов в условиях железнодорожного пути не является панацеей, поскольку на сегодняшний день разработано множество средств борьбы со сложившемся недугом, например: шумовые экраны, рельсовые демпферы, низкие шумовые барьеры и т. д. Необходимо понимать, что шумоподавление за счёт акустического шлифования имеет ограниченный временной срок, который зависит от интенсивности движения подвижных составов. На рис.1 представлен график зависимости уровня шума и шероховатости от времени, который используется при акустическом шлифовании в ФРГ¹.

¹ Scossa-Romano E. Rail Dampers, Acoustic Rail Grinding, Low Height Noise Barriers. A report on the state of the art / E. Scossa-Romano, J. Oertli. Switzerland: International union of railways, 2012. 38 с.

Из графика видно, что рост показателя шероховатости имеет линейный характер, а уровень шума по отношению к шероховатости – пропорциональный (необходимо понимать, что график построен при идеальных условиях). Шлифование рельсов назначается при превышении показателя уровня шума на 3дБ.

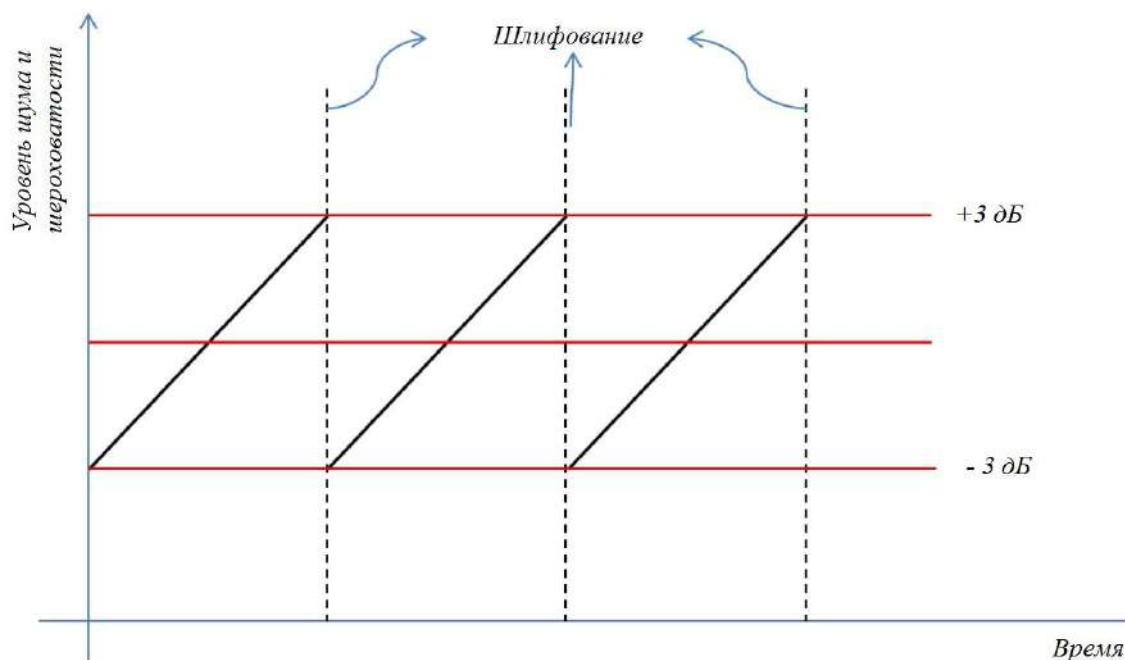


Рис. 1. Дефекты рельсов

Из среднестатистических наблюдений в ФРГ следует, что шумоподавление имеет свой максимальный эффект от двух до четырёх недель после шлифовки. С увеличением показателя шероховатости шлифование назначается вновь.

Из среднестатистических наблюдений в ФРГ следует, что шумоподавление имеет свой максимальный эффект от двух до четырёх недель после шлифовки. С увеличением показателя шероховатости шлифование назначается вновь. Процедуры контроля представлены в табл. 1.

Табл. 1

Процедуры контроля

	Акустическое шлифование	Обычное шлифование
Контроль	5 мм < Длина волны < 20 см	5 см < Длина волны
Прямой контроль	Точный, но медленный	Быстрый
Косвенный контроль	Быстрое измерение шума (используется в ФРГ и Нидерландах)	Измерение вибрации

С 1998 г. в ФРГ внедрена специальная программа акустического шлифования, которая называется *Besonders überwachtetes Gleis* (или сокращённо *BüG*). Для контроля требуемых значений применяется железнодорожный шумоизмеритель *SchallMessWagen*, который способен выполнять свои функциональные обязанности на скорости от 80 до 200 км/ч, что позволяет не изменять графики движения поездов. Как только шероховатость рельсов достигает предельного значения, назначается шлифовка, которая должна быть реализована в течение заданного времени. После проведения рельсошлифования в условиях железнодорожного пути, участок контролируется каждые 6 месяцев при помощи *SchallMessWagen*. Если измеренное значение будет превышать 3 дБ, то необходимо назначить шлифовку, а если 2 дБ, то рельсошлифование должно быть выполнено в течение 10 месяцев.

В ФРГ акустическое шлифование выполняется одним из методов:

- строгание (фрезерование) с последующим шлифованием колеблющимися камнями;
- шлифование диском с последующей обработкой ленточной машиной.

В обоих случаях рельсошлифование в условиях железнодорожного пути проводится со скоростью около 1,2 км/ч.

В Нидерландах результаты шлифовки рельсов оцениваются в первую очередь с точки зрения снижения шума. Так, например, по результатам шлифовки шум, который возникает при движении подвижного состава со скоростью 120 км/ч, должен быть снижен на 2 дБ. Поскольку шероховатость рельса не является инвариантной величиной, интервал между рельсошлифованием следует выбирать таким образом, чтобы среднее снижение уровня шума составляло 2 дБ.

В Нидерландах выполняется около 420 шлифовальных смен в год. За смену шлифуют прямой участок пути или несколько объектов (стрелочные переводы, туннели, железнодорожные переезды, мосты и т. д.). Так, например, за одну ночную смену выполняют шлифовку 10-30 км прямого железнодорожного пути. Стоит отметить, что рельсошлифование в Нидерландах носит исключительно профилактический характер. У компании *ProRail* заключены контракты со *Speno International SA* и *Vossloh* на проведение профилактического шлифования и корректирующего фрезерования соответственно. Для рельсошлифования в

условиях железнодорожного пути применяют рельсошлифовальные поезда (далее по тексту – РШП) от фирмы Speno International SA, такие как RR62M2, 16MS-4 и 16MS-9, информация о которых представлена на сайте производителя².

В 2019 г. между ProRail и Speno International SA был заключён новый контракт, который подразумевает более жёсткие технические требования, предъявляемые к шлифовальным операциям. Согласно данному контракту, всё шлифовальное оборудование необходимо было сертифицировать на соответствие новым требованиям. На сертификацию, которая включала в себя лабораторные исследования, было затрачено немало временных ресурсов, но в результате РШП стали выполнять свои функции лучше, чем когда-либо прежде.

В Нидерландах, как и в ФРГ, шероховатость рельсов контролируется косвенно с помощью шумоизмерительных поездов. Шероховатость, которую в Нидерландах измеряют при помощи поезда ARRoW, непосредственно влияет на шум качения подвижных составов. Принципы измерения SchallMessWagen и ARRoW отличаются, но, по мнению экспертов, они одинаково подходят для косвенного контроля шероховатости рельсов.

С 1 июля 2012 г. в Нидерландах введён спектр шероховатостей рельсов для обычных (скорость движения менее 200 км/ч) и высокоскоростных путей (более 200 км/ч). Предложенный метод позволил рассчитывать общее значение снижения шума при акустическом шлифовании. Это было необходимо, поскольку на государственном уровне был принят закон, ограничивающий уровень шума при движении подвижных составов. Спектр шероховатости для обычных путей был разработан на основе четырёхлетнего наблюдения. За это время железнодорожные пути были оборудованы в соответствии с акустическими требованиями. Спектр шероховатостей для высокоскоростных путей основан на нескольких годах наблюдений и поддержании минимальной шероховатости с использованием акустического метода шлифования рельсов (см. зелёную линию на рис. 2).

Стоит отметить, что ФРГ и Нидерланды являются первопроходцами в акустическом шлифовании.

На Японской железнодорожной сети шлифование рельсов в условиях железнодорожного пути выполняется с целью уменьшения уровней шума и вибрации при движении подвижного состава, а также для восстановления

² Innovation Speno International SA [Электронный ресурс]. URL: <http://speno.ch/> (Дата обращения 20.10.2020).

поперечного профиля и увеличения срока службы эксплуатации рельса. Группа компаний Japan Railways шлифует рельсы самостоятельно с использованием РШП от Speno International SA. Примечательно, что в Осаке расположен офис компании Nippon Speno КК. Основаниями для назначения рельсошлифования на высокосортных железнодорожных магистралях могут служить:

- снижение шума и вибрации в жилых районах, деловых центрах, тоннелях и т. д.;
- предупреждение развития контактно-усталостных дефектов.

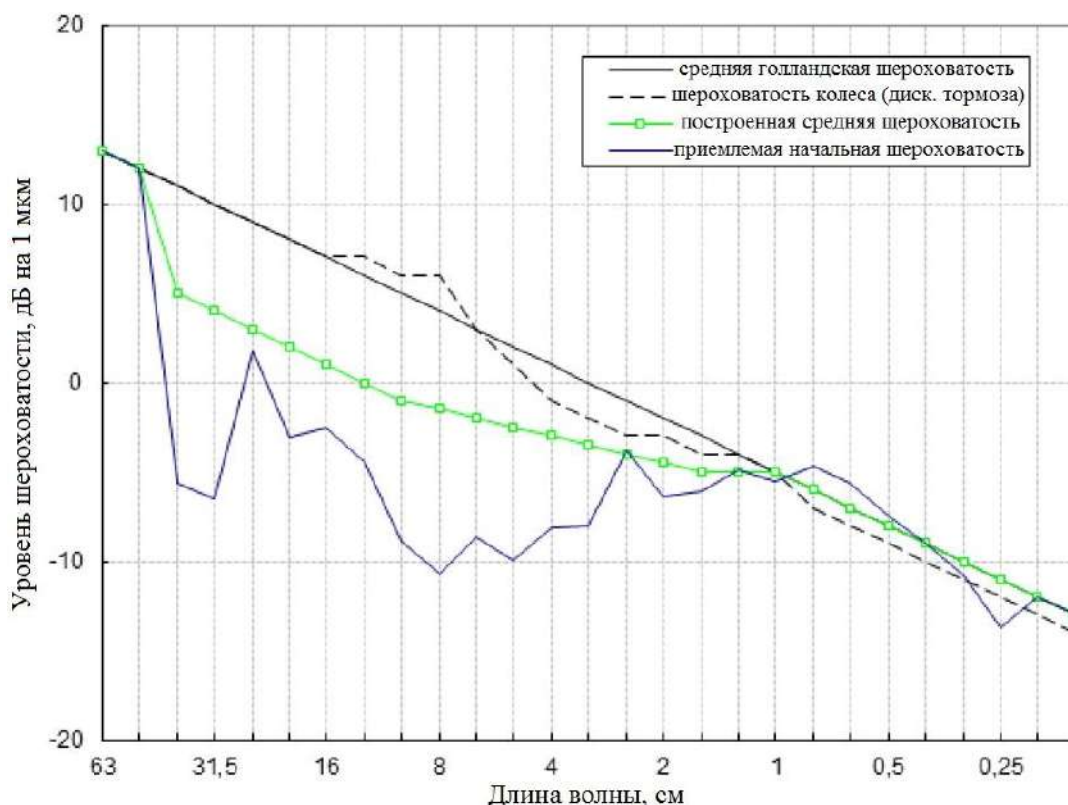


Рис. 2. Спектр шероховатости для высокоскоростных путей

В начале 2000-х гг. вопросами рельсошлифования в условиях железнодорожного пути занимались инженеры JR East. Кроме всего прочего, в их обязанности входило определение числа проходов РШП и схем рельсошлифования. При разработке и утверждении планов они руководствовались интенсивностью движения подвижного состава на железнодорожном участке, подлежащего шлифованию, а также принимали во внимание протяжённость пути и возможность выделения «окна». Однако руководство компании не удовлетворило те результаты, которые получились по результатам проделанной работы, поэтому был разработан новый метод организации производственного процесса, который показан на рис. 3.

В табл. 2 приведено число проходов, которое необходимо совершить РШП с 16 шлифовальными камнями для исправления сварного стыка³. При определении количества проходов РШП руководствуются:

- толщиной слоя металла, который способен снять РШП за один проход;
- толщиной слоя металла, которую необходимо снять за один проход РШП;
- участком перехода (рис. 4).

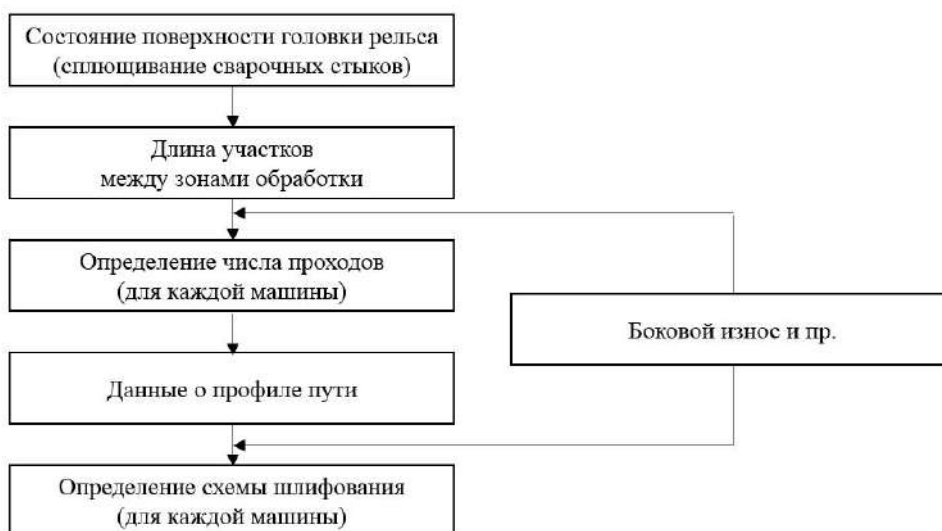


Рис. 3. Алгоритм определения числа проходов РШП и схемы шлифования

Табл. 2

Определение числа проходов РШП для шлифования сварного стыка

Глубина стыка d , мм	Число проходов РШП	
	Обычный железнодорожный путь ($D = 6000 \times d$)	Высокоскоростной железнодорожный путь ($D = 10000 \times d$)
$0 \leq d < 0,2$	8	12
$0,2 \leq d < 0,3$	10	14
$0,3 \leq d < 0,4$	12	16
$0,4 \leq d$	16	20

³ Tetsuhiro A. Preventive rail grinding strategy adopted on Shinkansen lines of JR East // Rail Engineering International. 2004. № 2. С. 10-12.

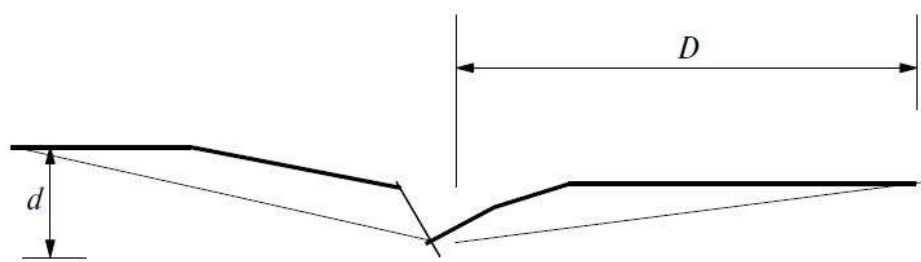


Рис. 4. Участок перехода сварного стыка

d – длина отвода понижения; D – глубина удаляемого слоя металла

Используя табл. 3, назначают схему шлифования в зависимости от преобладающей конфигурации пути.

Табл. 3

Назначение схемы шлифования

Путь	Число проходов						
	6	8	10	12	14	16	20
Прямой или кривой ($R > 4000$ м или $R < 2000$ м)	16-А	16-С	16-Е	16-Н	16-К	16-Н	16-Q
$2000 < R < 4000$ м	16-А	16-С	16-F	16-И	16-Л	16-О	16-Р
Уравнительный стык	16-В	16-Д	16-Г	16-Ж	16-М	16-П	16-С

Число проходов равное шести назначают только в случае устранения дефектов.

Схемы шлифования зоны контакта колеса с рельсом показана на рис. 5.

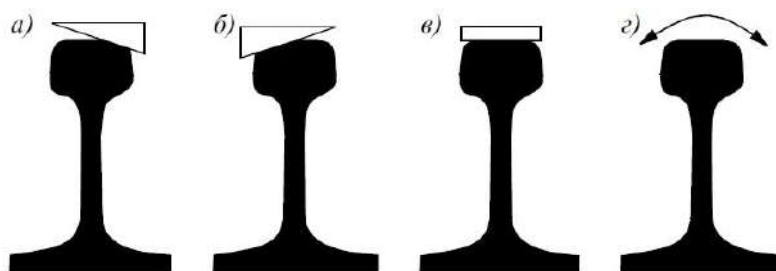


Рис. 5. Последовательность шлифования

а) – рабочая грань; б) – внутренняя грань; в) – головка рельса;
г) – изменение профиля

Для придания головке рельса выпуклой формы, производят шлифовальные операции рабочей и внутренней граней (см. рис. 5, а, б). С целью удаления волнообразного износа, используют осевое шлифование (см. рис. 5, в), а для

придания поперечному профилю головки рельса формы, максимально приближенной к исходной, производят перепрофилирование (см. рис. 5, з).

Операции по перепрофилированию головки рельса выполняются в зависимости от преобладающей конфигурации пути (см. табл. 3). Так, в кривых радиусом от 2000 до 4000 м (см. рис. 6, а) шлифовальные камни выставляются под более крутым углом (в зависимости от радиуса кривой, но не более 70°). При рельсошлифовании в прямых и кривых, радиус которых менее 2000 м или более 4000 м, шлифовальные камни выставляют под более острым углом (порядка 40°) и на головке рельса (см. рис. 6, б). При шлифовании уравнивательных стыков шлифовальные камни выставляют также под более острым углом с целью недопущения контакта с острым краем. Для восстановления исходного поперечного профиля головки рельса шлифовальные камни выставляют под минимальным углом ($0-6^\circ$).

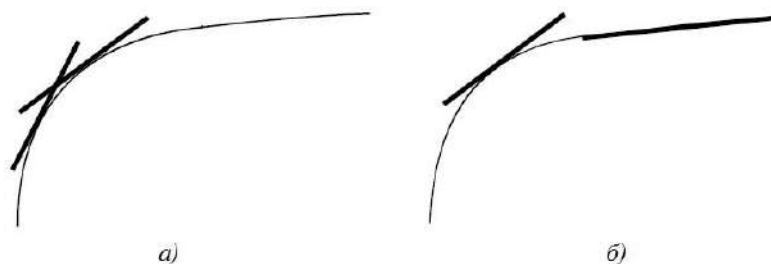


Рис. 6. Расположение шлифовальных камней в зависимости от типа пути
а) – прямой или кривой ($R > 4000$ м или $R < 2000$ м);
б) – кривой ($2000 < R < 4000$ м), уравнивательный стык

Схема, по которой назначается устранение поверхностных дефектов, представлена на рис. 7.



Рис. 7. Схема назначения удаления поверхностных дефектов

Число проходов назначается ориентируясь на паспортные значения РШП (см. табл. 4), а также исходя из правила, согласно которому необходимо удалять неровности глубиной 0,05-0,1 мм на тех железнодорожных путях, где пропущенный тоннаж превышает 30 млн. т., с целью исключения развития контактно-усталостных дефектов.

Табл. 4

Назначение числа проходов

Количество шлифовальных камней	Число проходов
16	6
24	4
32	4
48	2-4

На сегодняшний день организационная структура производственного процесса шлифования рельсов в Японии является автоматизированной. Компания JR East использует систему Track Maintenance System 21 (TRAMS21), в которую заложены вышеописанные последовательности, правила и т. д.

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИОННОЙ СХЕМЫ МАЛОГАБАРИТНОГО ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ЭКСКАВАТОРА

Власов Д.В. – магистрант, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Шаихов Р.Ф. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова»

Научный руководитель: Пугин К.Г. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Пермский государственный аграрно-технологический университет имени академика Д.Н. Прянишникова»

Аннотация

В данной статье предпринята попытка по разработке несущей платформы экскаватора прицепного типа. Представлена собственная схема рамы, компенсирующая недостатки существующих конструкций. Предложен вариант компоновочного решения по размещению основного рабочего оборудования.

Современное общество не может обойтись без строительных и дорожных машин (СДМ), так как они способны совершать работу в сложных производственных условиях в сжатые сроки¹. По причине того, что данной технике необходимо выдерживать повышенные нагрузки на силовые установки, она выполняется крупногабаритной. Однако иногда требуется выполнять работу в стесненных условиях, где применение крупногабаритных машин невозможно. Поэтому на рынке спецтехники все чаще стали появляться варианты машин в уменьшенных масштабах².

Mini – техника получила широкое применение в домашнем хозяйстве (особенно мини-экскаваторы) для рытья траншей под фундамент, корректировки дизайна ландшафта, создания прудов, расчистки территорий и т.д. Если же на производственных площадках данный тип техники самоходный, то в домашнем хозяйстве наиболее распространен прицепной тип. Прицепные малогабаритные экскаваторы оснащены фаркопом, позволяющим транспортировать их по дорогам общего пользования.

Зарубежные и отечественные аналоги такой техники имеют довольно высокую цену и по отзывам владельцев ряд существенных недостатков: низкий

¹Пугин К.Г., Власов Д.В., Шаякбаров И.Э. Разработка грузоподъемного устройства на трактор МТЗ-80 (МТЗ-82) // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 2. С. 109-118.

²Ахрипова Е.К. Большое будущее мини-экскаватора // Прямые инвестиции. 2009. № 11. С. 48.

коэффициент запаса прочности несущей платформы, необходимость перестановки выкидных опор, неустойчивая схема нагружения³. Для удовлетворения растущего спроса на малогабаритную строительную технику, решения вопроса импортозамещения технологических машин, принятой стратегией Минпромторга развития строительного машиностроения до 2030 г., авторами начата работа по проектированию малогабаритной землеройной машины.

Малогабаритный экскаватор должен выполнять следующие виды работ в стесненных условиях: рытье траншей, канав и ям глубиной до 1 м; погрузка грунта на высоту до 1м; работа на уклоне до 20°; разработка грунтов до 3 категории. Необходимо чтобы техника обладала следующими параметрами: небольшой массой-до 500-700 кг и габаритные размеры должны быть в пределах базового прицепа – 3х1,2 м (длина/ширина).

Исходя из этого, основными параметрами (главными параметрами) будут радиус резанья – 1,5м; радиус выгрузки – 1,4м; высота выгрузки – 1,2м; глубина резанья – 1м.

Для малогабаритного экскаватора одним из основных элементов является рама. Схема рамы одного из самодельных экскаваторов представлена на рис. 1.

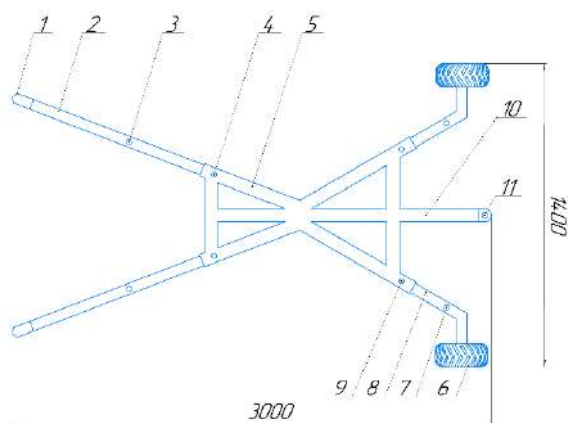


Рис. 1. Схема конструкции самодельной рамы в рабочем положении:

1 – наконечник опоры; 2 – выносная опора; 3,4 – отверстия для фиксации опоры; 5 – рама; 6 – колесо; 7,9 – отверстия для фиксации колес; 8 – колесная балка; 10 – выноска для фаркопа; 11 – фаркоп.

³Ананин В.Г., Эмилов А.Б. О рентабельности применения, достоинстве и недостатках мини-экскаваторов в промышленности и народном хозяйстве // Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 6. С. 36-41.

Наконечник 1 расположенный на конце выносной опоры 2 в рабочем положении упирается в землю и служит точкой опоры. На раме 5 устанавливается основное рабочее оборудование. Для перевода рамы из рабочего положения в транспортировочное необходимо переставить местами выносную опору 2 и колесную балку 8. Транспортировка осуществляется путем присоединения транспортного средства к фаркопу 11. Недостатки такой конструкции, следующие: нет возможности регулировки высоты наконечника; необходимость перестановки выносных опор; множество подвижных элементов.

Учитывая недостатки самодельных конструкций и имеющихся в продаже была предложена собственная схема несущей платформы типа треугольник (рис.2).

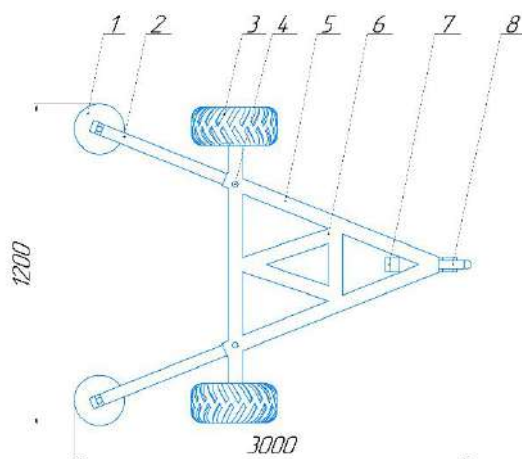


Рис. 2. Схема рамы типа треугольник:

1 – опорный диск; 2 – выносная опора; 3 – колесо; 4 – фиксатор; 5 – внешняя рама; 6 – каркас усиления рамы; 7 – опорная лыжа; 9 – фаркоп

Отличительной особенностью варианта типа треугольник является то, что выносная опора 2 имеет опорный диск 1 при помощи которого можно регулировать высоту точки опоры. В транспортном положении выносная опора 2 задвигается в корпус внешней рамы 5. В рабочем положении опорная лыжа 7 необходима в качестве дополнительной точки опоры.

От выбора конструкции несущей платформы зависит расположений основного рабочего оборудования. Поэтому был разработан вариант компоновочного решения, учитывающий особенности конструкции (рис.3).

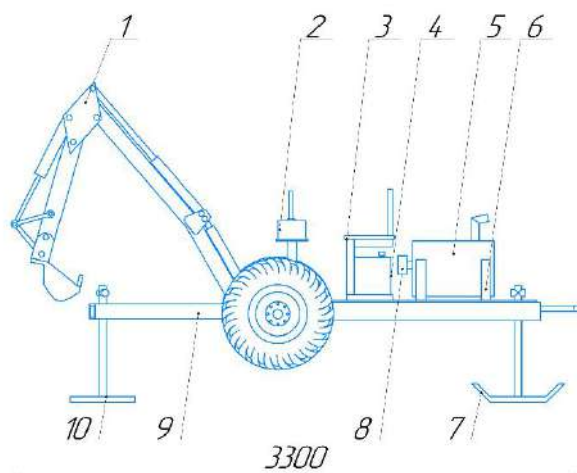


Рис. 3. Вариант компоновочного решения на малогабаритном экскаваторе:

1 – стреловое оборудование; 2 – гидрораспределитель; 3 – сидение; 4 – гидробак; 5 – двигатель; 6 – площадка под двигатель; 7 – лыжа; 8 – гидронасос; 9 – выносная опора; 10 – опорный диск.

Стреловое оборудование 1 будет приводиться в действие при помощи трех гидроцилиндров: один – на подъем стрелы; второй – на подъем рукояти; третий – на работу ковша. Гидрораспределитель 2 расположен в передней части экскаватора и необходим для распределения потока жидкости. Под сидением 3 оператора расположен гидробак 4, где находится гидравлическое масло. Двигатель 5 расположен на площадке 6 и необходим для передачи механической энергии к гидронасосу 8.

На дальнейшем этапе проектировании будет проведен расчет устойчивости, прочности, задан материал конструкции, а также при помощи 3D проектирования в программе SolidWorks будет поставлен эксперимент по оптимизации несущей платформы с сохранением ее жесткости и прочностных свойств.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТРЕБУЕМЫХ ПАРАМЕТРОВ ВОЗДУШНОЙ СТРУИ ПНЕВМОСНЕГООЧИСТИТЕЛЬНЫХ МАШИН

Глотов Н.В. – аспирант, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, Новосибирск

Вдовин А.В. – студент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, Новосибирск

Научный руководитель: Глотов В.А. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет путей сообщения», Россия, Новосибирск

Аннотация

В статье раскрывается способ бесконтактной очистки железнодорожных путей от снега. На основе существующих исследований создана улучшенная методика расчета требуемой энергии воздушной струи и силовых параметров рабочего оборудования.

В настоящее время широкое применение для профилактической очистки путей на железных дорогах нашли пневмоочистительные машины. В России для очистки путей на перегонных используются машины типа ПОМ (рис. 1). Однако их использование на станциях из-за образующегося мощного снеговоздушного потока поперек путей запрещено.



Рис. 1. Путьевая очистительная машина типа ПОМ

В СГУПС накоплен богатый опыт по созданию пневмоуборочных¹ и пневмоочистительных² машин. На основании данного опыта разработан эскизный проект аэродинамической снегоуборочной машины для станционных путей ПСМ-С (рис. 2)³. Отличительной особенностью разработанной машины от машин типа ПОМ является изменение траектория движения снеговоздушного потока – с движения поперек пути, на движение вдоль пути, что исключает все негативные явления (повреждение строений, оборудования и подвижного состава, вероятность травмирования персонала станций, завал соседних путей), возникающие при работе данных машин на станциях.

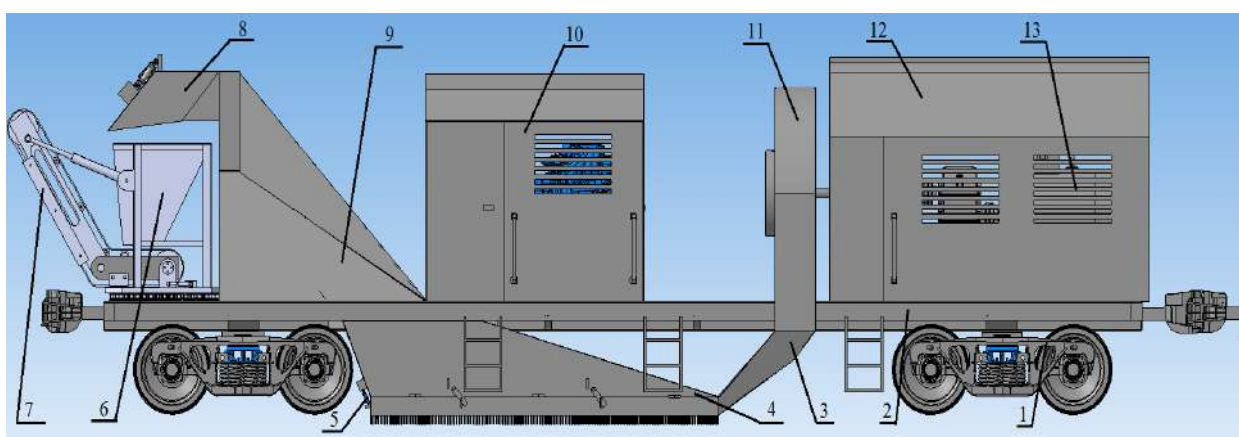


Рис. 2. Принципиальная схема машины ПСМ-С:

- 1 – ходовая тележка; 2 – платформа; 3 – сопло; 4 – кожух направляющий;
 5 – подвижный козырек; 6 – бункер приемный; 7 – конвейер выбросной;
 8 – щит отбойный; 9 – направляющий кожух; 10 – электростанция питания полувагонов; 11 – вентилятор;
 12 – укрытие привода вентилятора; 13 – привод вентилятора

Предложенная траектория движения снеговоздушного потока (рис. 3) позволяет производить погрузку снега изменением положения отбойного щита (рис. 2, поз. 8), как в накопительное средство (полувагоны), сцепленное с

¹ Глов В.А., Мокин Н.В., Филатов А.П. К обоснованию параметров пневмотранспортной машины для уборки снега с междупутей станций // Совершенствование средств механизации путевых, строительных и погрузочно-разгрузочных работ. Новосибирск, 2001. С. 32–39.

² Глов В.А., Коледа Д.А., Смоляницкий Б.Н. Решение проблем очистки железнодорожных путей от снега // Строит. и дорожн. машины. 2005. № 11. С. 16-18.

³ Глов В.А., Коледа Д.А., Смоляницкий Б.Н. Профилактическая очистка путей от снега // Ж.-д. трансп. 2006. № 1. С. 54-56.

машиной, так и на междупутья по специальным перегрузочным лоткам или за пределы путей выбросным конвейером (рис. 2, поз. 7).

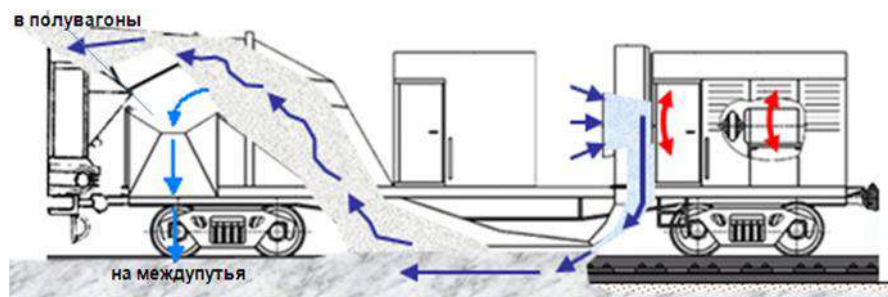


Рис. 3. Схема движения воздушного и снеговоздушного потоков

При создании пневмоочистительных машин важным является вопрос о транспортирующей способности воздушной струи. Струя, исходящая из сопла направляющего аппарата, производит работу по разрушению снежного наста, скопившегося на пути, в результате чего теряет часть своей первоначальной энергии. Оставшаяся энергия идет на транспортирование снежной массы. Дальность транспортирования важна при очистке перегонов – для исключения завала прилегающих к путям зон, и, особенно, при очистке станций, т. к. от этого зависит возможность доставки снега к месту разгрузки (полувагоны, лотки, конвейер). Для математического моделирования процесса транспортирования снежных частиц необходимо установить остаточную скорость воздушной струи после разрушения наста.

Затраты энергии воздушной струи зависят от многих факторов, включающих как параметры самой воздушной струи, так и параметры машины и снежного наста.

Одним из важнейших параметров является удельная работа разрушения E_c , которая зависит от типа и плотности наста. В работе⁴ на основе обработки теоретических и экспериментальных данных, получены обобщенные зависимости удельной работы разрушения снежного наста E_c в зависимости от его плотности ρ_n :

свежеотложенный слабоуплотненный наст:

$$E_c = 148 \exp(0,011\rho_n), \quad (1)$$

уплотненный наст:

⁴ Глотов В.А., Якимович А.Н. Моделирование рабочего процесса аэродинамического снегоочистителя для станций // Материалы региональной научно-практ. конф. «Вузы Сибири и Дальнего Востока Транссибу». Новосибирск, 2003. С. 33 – 37.

$$E_{\bar{n}} = 127 \exp(0,013\rho_f). \quad (2)$$

Данной работе разрушения должно соответствовать динамическое давление струи на поверхности наста p_B :

$$p_{\hat{a}} = \frac{\rho_{\hat{a}} v_{\hat{a}}^2}{2}, \quad (3)$$

где ρ_B – плотность воздуха,

v_B – скорость воздуха.

В работе при моделирование процесса разрушения наста показано, что наиболее точно работу разрушения отражает зависимость (2). Исходя из данной зависимости, динамическое давление струи, создаваемое на поверхность наста, должно быть: для снега плотность $100 \text{ кг/м}^3 - 450...470 \text{ Па}$; плотностью $2500...300 \text{ кг/м}^3 - 3280...6270 \text{ Па}$. При этом скорость струи (3) для обеспечения разрушения наиболее плотного наста должна составлять $80...100 \text{ м/с}$. Данные значения могут быть приняты в качестве начальной скорости струи при выходе из сопла.

Рассмотрим импульсное воздействие воздушной струи на наст (рис. 4) за промежуток времени dt равный времени прохождения струи от поверхности наста до основания (балластная призма). Длина участка определяется с учетом наклона струи – наклон сопла к поверхности пути под углом α (рис. 4). За этот промежуток времени ядро струи (режущая зона) воздействует на площадку, соответствующую продольному смещению сопла, связанному со скоростью машины v_M .

Решение задачи произведем при помощи теоремы о количестве движения:

$$\frac{dmv_{\hat{a}}}{dt} = \frac{m(v_i - v_{\hat{e}})}{t} = F, \quad (4)$$

где m – масса воздуха, выходящего из сопла за время действия импульса;

v_H – начальная скорость струи на поверхности наста;

v_K – остаточная скорость струи после разрушения слоя наста;

$F = p_B A_H$ – сила действия воздушной струи на поверхность наста,

$A_H = v_M B_H t$ – площадь площадки воздействия импульса воздуха струи;

B_H – ширина наста.

Масса воздуха m может быть выражена через расход воздуха Q , подаваемого вентилятором, и его плотность p_B :

$$m = Q\rho_a t . \quad (5)$$

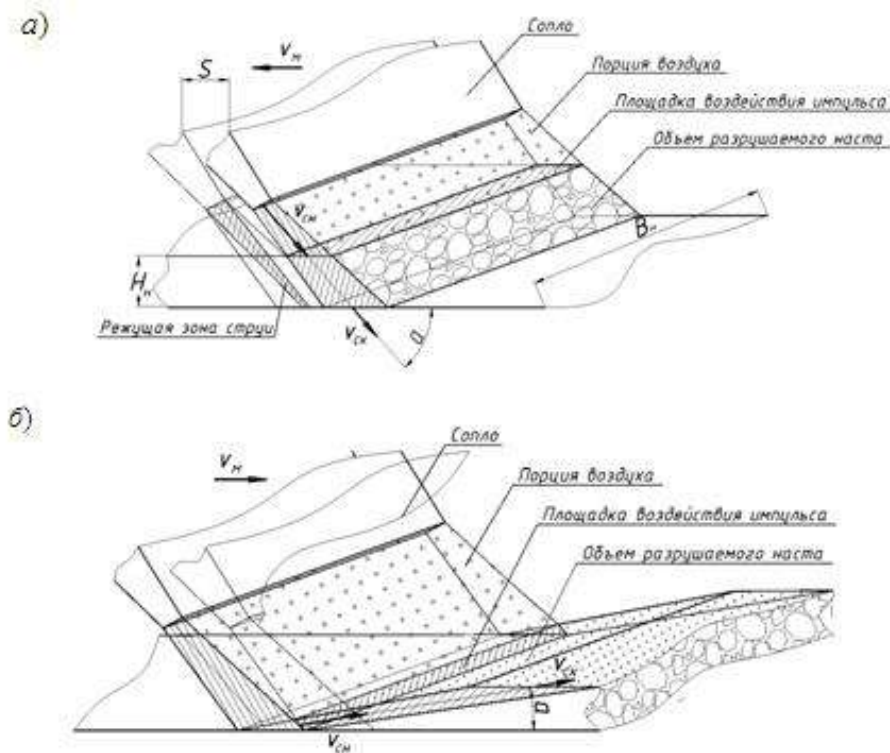


Рис. 4. Разрушение наста импульсным воздействием порции воздуха:

a – при движении сопла над настом;

б – при движении сопла над очищенной поверхностью

На основе зависимостей (4) и (5) получено выражение для конечной (остаточной) скорости воздуха после разрушения наста:

$$v_k = \sqrt{v_n^2 - \frac{2E_c v_m H_n B_n}{kQ\rho_b \sin \alpha}} , \quad (6)$$

где H_n – высота наста;

k – коэффициент, учитывающий расход воздуха в режущей части струи (в зоне постоянной скорости - рисунок 4,а);

α – угол наклона струи к поверхности наста.

Полученная зависимость наглядно показывает связь между параметрами наста (E_c , H_n , B_n), рабочими параметрами машины и ее пневмоустановки (v_m , v_n , Q , ρ_b , α), что позволяет регулировать процессы разрушения наста и

транспортирования снежной массы изменением не только начальной скорости струи, но и изменением скорости самой машины, а также наклоном сопла.

Из зависимости (6) также может быть установлена необходимая начальная скорость струи в зависимости от известных параметров наста или определена возможная очищаемая высота наста при достигаемой начальной скорости струи.

В качестве примера, в табл. 1 приведены параметры струи ($v_H = 80, 100$ м/с; $Q = 26,3$ м³/с, $\rho_B = 1,3$ кг/м³) после разрушения наста с параметрами: $\rho_H = 250$ кг/м³ и $E_c = 3280$ Па, $H_H = 0,2$ м; $B_H = 2,7$ м.

Табл. 1

Изменение параметров струи после разрушения наста

v_H , М/с	80				100			
v_M , М/с / КМ/Ч	2,8 / 10	4,1/ 15	10/ 36	19,4/ 70	2,8 / 10	4,1/ 15	10/ 36	19,4/ 70
v_K , М/с	76	75	66	50	97	95	89	78
p_B , Па	3780	3500	2830	2480	6120	5870	5150	3950

Из таблицы видно, что при начальной скорости струи $v_H = 80$ м/с и скорости машины $v_H > 15$ м/с данный наст не может быть разрушен на всю глубину ($p_B < E_c$). Для работы на таком наста необходимо повышать скорость струи до 100 м/с, что обеспечит движение машины со скоростью до 70 км/ч – необходимая для работы на перегонах.

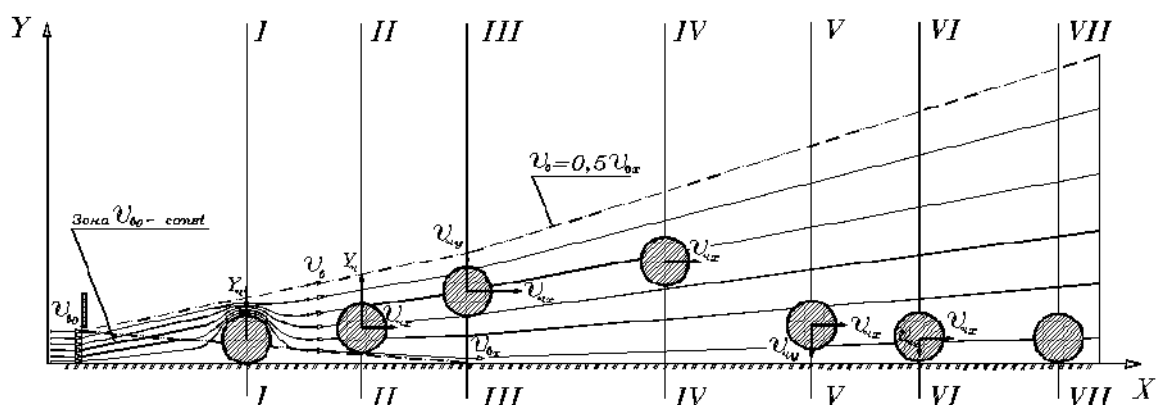


Рис. 5. Схемы движения сферической частицы под действием воздушной струи над гладкой поверхностью

В работе⁵ рассмотрены вопросы по установлению разрушающей способности воздушной струи при ее воздействии на снежный наст. Наст рассматривался как связанная структура, способная упруго воспринимать действующие нагрузки, что позволило применить для анализа его напряженно-деформированного состояния численное моделирование (МКЭ). Результаты моделирования показывают, что при скорости струи 80 м/с и скорости машины 16 м/с (58 км/ч) разработка наста плотностью 250 кг/м³ происходит на глубину 60 мм, а при скорости машины 6,7 м/с (24 км/ч) возможна разработка на глубину до 130 мм. Для разработки наста большей глубины необходимо повышать скорость струи до 100 м/с, что подтверждается результатами математического моделирования. Данная скорость струи обеспечит движение машины со скоростью до 70 км/ч – необходимая для работы на перегонах.

Сопоставимость результатов, полученных по зависимости (6) и на основе математического моделирования⁵, подтверждает адекватность предложенной зависимости.

Величина конечной скорости струи после разрушения наста v_k чрезвычайно важна как базовая величина для моделирования процесса транспортирования снежных частиц.

Моделирование транспортирующей способности струи связано не только с определением возможности переноса струей срезанной массы снега, но и с определением скорости и дальности транспортирования частиц. Движение отдельных снежных частиц (пылевидных) и их агрегатов (зернистых и кусковых), возникающих после разрушения снежного наста, можно рассмотреть как сочетание их горизонтального и вертикального движений. Для данного рассмотрения более подходит схема разрушения наста при движении сопла над ним (рис. 4, а), так как за соплом остается очищенная поверхность свободная для развития струи. Для моделирования может быть предложена схема движения частиц под действием воздушной струи, показанная на рис. 5. В схеме рассматривается три стадии движения частицы: подъема над поверхностью (при превышении подъемной силы над силой тяжести частицы – участок I–IV), осаждения на поверхность (при превышении силы тяжести частицы над

⁵ Глотов В.А., Глотов Н.В. Исследование воздействия воздушной струи на связанную структуру снега // Интеллектуальный потенциал Сибири. Материалы 27-я РНСК. Новосибирск. 2019. С. 134-136.

подъемной силой – участок IV–VI) и перемещения по поверхности скольжением (участок IV–VI).

В качестве начальной скорости струи $v_{ч0}$ принимается конечная скорость струи после разрушения наста v_k , полученная по зависимости (6). При дальнейшем развитии струи ее скорость будет снижаться и приобретать новые значения на каждом рассматриваемом участке транспортирования $v_{I-II} \dots v_{VI-VII}$.

Горизонтальное движение частиц – на основе гипотезы о их прямолинейном движении под действием силы воздушного потока (гипотеза И. Гастершдатда и Е. Трефта) – рассмотрено в работе⁶.

Для рассмотрения вертикального движения частиц важным вопросом является вопрос о возможности возникновения подъемной силы, под действием которой частица может подниматься над поверхностью, а также вопрос о величине подъемной силы. Эти вопросы также связаны с величиной скорости воздушного потока, воздействующего на частицу.

В летящем состоянии возможны следующие случаи возникновения подъемной силы: в результате вращения частиц округлых и цилиндрических форм (эффект Магнуса), работы плоских частиц как крыльев, в результате воздействия пульсационных вертикальных составляющих воздушного потока. Первые два случая более соответствуют движению зернистых и кусковых частиц, последний – движению мелкозернистых и пылевидных частиц.

При выходе из зоны постоянных скоростей (начальный участок струи) во время подъема и удаления от сопла воздействие потока на частицу значительно снижается, вследствие снижения его скорости. Следует также учитывать, что для длительного действия подъемной силы необходима стабильность процессов вращения и работы частиц как крыло, что маловероятно. Поэтому влияние подъемной силы после отрыва частицы от поверхности сильно ослабевает и ей можно пренебречь. Это, прежде всего, относится к кусковым частицам ($l_s=20 \dots 300$ мм), скорость витания которых значительна (10...50 м/с).

Для мелкозернистых и пылевидных частиц, влияние подъемной силы более значительно, но на них большее влияние оказывает и сила сопротивления воздуха. Поэтому после начального подъема с поверхности не только их подъем, но и осаждение тормозятся воздушным сопротивлением. Как правило, данные

⁶ Глотов В.А. Осаждение снега в емкости уборочной машины / Вопросы создания и модернизации строительных и путевых машин. Сборник научных трудов СГАПС, Новосибирск, 1994. С.12-18

частицы, попадая в пограничный слой (зона смешения) струи, транспортируются с ней на значительные расстояния.

Более существенным для возникновения подъемной силы и ее величины является процесс обтекания частицы, лежащей на поверхности (рис. 6, *a*), когда в результате одностороннего обтекания частицы скорость потока над ней увеличивается, а под ней уменьшается до нуля. При это давление потока над частицей падает, а под ней возрастает. Подъемная сила будет возникать при нахождении нижней поверхности частицы в пограничном слое потока. Так как пограничный слой на начальном участке струи мал, то и время действия подъемной силы мало (сотые доли секунды).

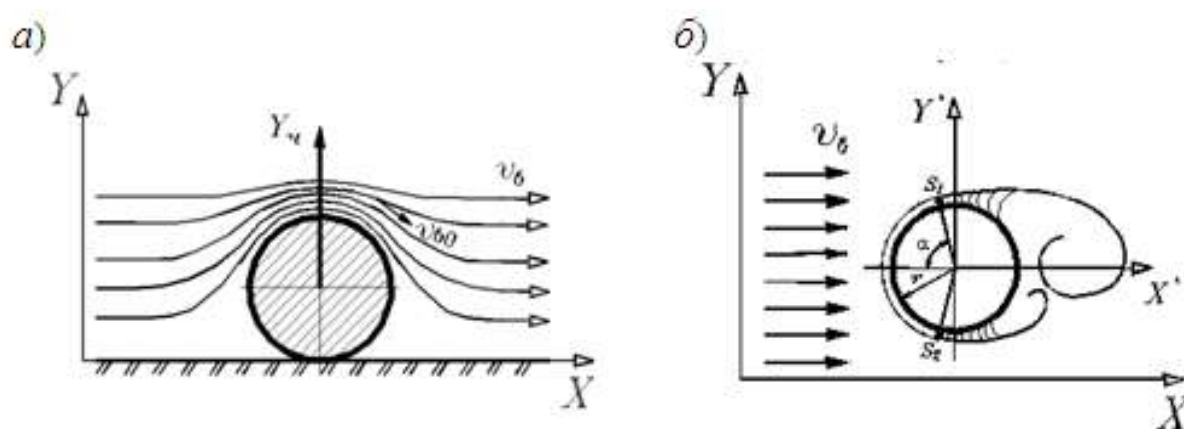


Рис. 6. Схемы обтекания сферической частицы:

a – потенциальное; *б* – вихревое

В рассмотренных случаях возникновения подъемной силы предполагалось обтекание частицы потенциальным потоком, когда исключается вихревое движение воздуха и поток полностью обтекает профиль частицы, нигде не отрываясь от поверхности (безотрывное обтекание). На самом деле процесс обтекания гораздо более сложен (особенно плохо обтекаемых частиц: призматических, цилиндрических, шаровидных и т. д.) и связан с отрывом потока от поверхности частицы и образованием вихрей (рис. 6, *б*). При подъеме частицы с поверхности также возможно отрывное обтекание частицы, в результате чего значительно снижается подъемная сила.

Оценить влияние отрывного обтекания наиболее просто через эффективную площадь, на которую действует подъемная сила. В работе⁷ приведены экспериментальные результаты, позволяющие установить зависимость угловой координаты α точек отрыва (на цилиндре в вязкой жидкости) от чисел Re . В диапазоне $Re=10^3 \dots 10^6$ угол отрыва составляет $\alpha=80 \dots 110^\circ$. Таким образом эффективная площадь (для сферической частицы – площадь миделевого сечения) при отрывном обтекании сокращается примерно наполовину, что дает соответствующее снижение подъемной силы в сравнении с равномерным обтеканием частицы.

Если данная подъемная сила, воздействующая на неподвижно лежащую частицу, сопоставима с силой, обеспечивающей ее трогание $v_{тр}$ (зависит от коэффициента трения скольжения $\mu_{тр}$ и может быть выражена через скорость витания $v_{вит}$), то возможны два варианта движения при воздействии потока: первый – до трогания частицы возникает достаточная подъемная сила, что обеспечивает ее отрыв от поверхности; второе – возникающая подъемная сила значительно снижает силу трения и облегчает трогание и дальнейшее скольжение частицы.

Математическое описание движения частиц снега по предложенной схеме (рис. 5) будет являться следующей стадией проводимого исследования.

⁷ Чжень И.Н. Колебания подъемной силы, обусловленные вихревыми дорожками Кармана за одиночными круговыми цилиндрами и в пучках труб // Тр. амер. общ. инж.-мех. Конструирование и технология машиностроения. 1972. № 2. С. 111-139

КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ДАТЧИКОВ МАССОВОГО РАСХОДА ВОЗДУХА НА АВТОМОБИЛЕ

Гриценко А.В. – д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Власов Д.Б. – преподаватель, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет», старший преподаватель ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Гордюшкин А.В. – магистр, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Тарасов Д.Д. – магистр, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

Статья посвящена апробации перспективного метода тестового диагностирования датчиков массового расхода воздуха (ДМРВ) и системы впуска автомобилей. Применение инновационного приборного средства ДБД-4 и тестовых методик диагностирования ДМРВ позволяет с высокой точностью производить оценку технического состояния современных ДВС.

Введение. В современном двигателе и автостроении активно внедряются разнообразные новшества¹. Среди данных разработок доминируют электронные системы и компоненты, а также новые методы контроля². На всех современных автомобилях и тракторах выпускаемых заводами изготовителями без исключения устанавливаются датчики массового расхода воздуха (ДМРВ)³. Современные конструкции ДМРВ в непрерывном режиме контролируют поток воздуха в ДВС с учетом его температуры, давления и обратных колебаний.

Чем точнее ведется контроль расхода воздуха, тем эффективнее поддерживаются режимы ДВС при минимальном расходе топлива. Несмотря на существенное улучшение современных ДМРВ, по данным ряда работ, данный

¹ Ageev, E.V., Kudryavtsev, A.L., Sevastyanov, A.L. The algorithm for diagnosing a cylinder-piston group using the technical endoscope (2012) World of Transport and Technological Machinery, 1, pp. 116-122; Сажин О.В., Первушин Ю.В. Микросенсор потока теплового типа для датчика массового расхода воздуха // Научное приборостроение. 2011. Т. 21, № 3. С. 52–61.

² Сажин О.В., Первушин Ю.В. Микросенсор потока теплового типа для датчика массового расхода воздуха. Научное приборостроение. 2011. Т. 21. № 3. С. 52-61.; Мельников, А. А. Ультразвуковые преобразователи в средствах измерения / А. А. Мельников, А. А. Мельников. М.: Спутник, 2010. 154 с.

³ Теремякин П.Г. Определение циклового наполнения воздухом цилиндров газового двигателя. Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 1 (19). С. 19-21.; Ерохов В.И. Проектирование и расчет расходомера воздуха электронных систем впрыскивания топлива. Транспорт на альтернативном топливе. 2011. № 6 (24). С. 20-27.

элемент микропроцессорной системы управления занимает одно из лидирующих мест по числу отказов. Среди отказов, распознаваемых системой самодиагностики автотракторных средств, следует выделить: обрывы проводов ДМРВ и повреждение разъемов, плохой контакт, пониженный или повышенный уровень сигнала, замыкание провода на массу или плюсовой провод⁴. Однако искажение выходных данных с ДМРВ, изменение сигнала в отдельных точках, существенные вариации сигналов система самодиагностики не распознает. Причиной неоднозначности оценки технического состояния ДМРВ является отсутствие специально предусмотренных действий, называемых тестовыми воздействиями, для распознавания правильности работы ДМРВ и оценки его реального технического состояния. Таким образом, возникает необходимость разработки тестовых воздействий для распознавания скрытых отказов ДМРВ.

Методика экспериментальных исследований.

Для решения поставленных задач была разработана общая методика исследований ДМРВ при формировании тестовых воздействий на работающем ДВС. Все экспериментальные исследования проводились на стенде с возможностью обеспечения режимов нагружения приборными методами и электродвигателем в его конструкции рис. 1.



Рис. 1. Стенд с возможностью обеспечения режимов нагружения приборными методами и электродвигателем в его конструкции

Для формирования нагрузки на ДВС использовался электронный прибор ДБД-4. Данный электронный прибор ДБД-4 использовался в качестве основного

⁴ Gritsenko A. V., Zadorozhnaya E. A., Shepelev V. D. Diagnostics of friction bearings by oil pressure parameters during cycle-by-cycle loading // Tribology in Indus-try. 2018. Т. 40. № 2. P. 300–310.

средства при формировании тестовых воздействий в процессе проведения экспериментальных исследований. Электронный прибор ДБД-4 при помощи LAN-кабеля подсоединялся к персональному компьютеру Acer ASPIRE A715-71G-56BD.

Результаты экспериментальных исследований.

Результаты экспериментальной работы были выполнены строго по плану и занесены в таблицы данных. После чего данные были изучены на предмет чрезмерных выбросов отдельных показаний и несоответствий. Данные точки в плане эксперимента дополнительно проверялись путем проведения повторного эксперимента. После уточнения выходных данных были построены зависимости массового расхода воздуха Q , кг/ч от положения дроссельной заслонки R , % рис. 2.

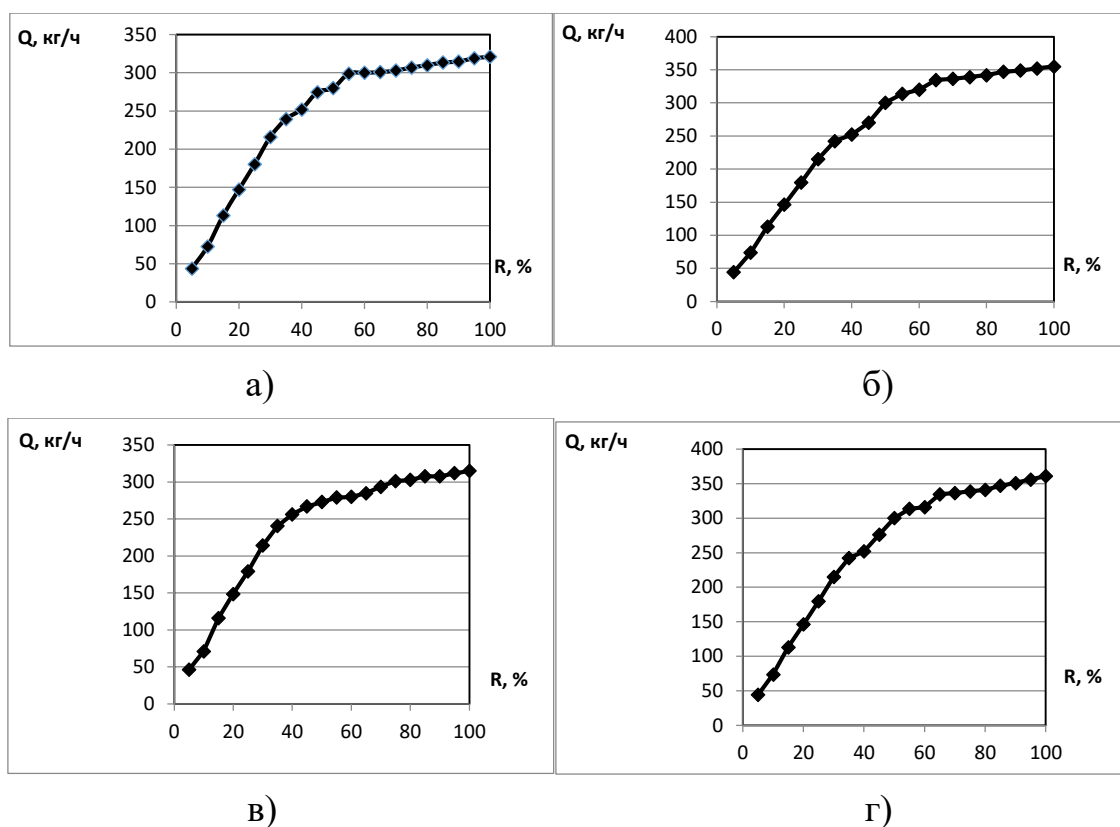


Рис. 2. Зависимость массового расхода воздуха Q , кг/ч от положения дроссельной заслонки R , % при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рис. 2 показывает, что динамика роста величины массового расхода воздуха при работе второго и четвертого цилиндров

несколько отличается от первого и третьего. Так максимальное значение величины массового расхода воздуха наблюдается в четвертом цилиндре и составляет 361 кг/ч. Несколько меньшее значение величины Q наблюдается при работе второго цилиндра – 355 кг/ч. Тогда как максимальные величины Q для первого и третьего цилиндров существенно ниже и составляют 321 и 315 кг/ч соответственно. Максимальная разность величин расхода воздуха для четвертого и третьего цилиндров составляет: $\Delta Q_{4,3}=Q_4-Q_3=361-315=46$ кг/ч. В процентном отношении эта величина достигает значения – 12,7 %. Анализ данных в таблице 1 показывает, что наименьший износ ЦПГ выявлен у четвертого цилиндра и составил – 14 %. Как раз для данного цилиндра наблюдается наибольшая величина массового расхода воздуха – 361 кг/ч. Износ второго цилиндра несколько больше четвертого (составляет 22 %), этим объясняется чуть меньшее значение массового расхода воздуха – 355 кг/ч. Износы первого и третьего цилиндров составляют 32 и 29 %, для этих значений износа максимальная величина массового расхода воздуха составила 321 и 315 кг/ч⁵.

Значительную ценность для оценки технического состояния системы впуска и ДМРВ представляет параметр – частота вращения коленчатого вала ДВС при реализации тестовых режимов. Так при проведении экспериментов были получены данные по контролю частоты вращения коленчатого вала ДВС в зависимости от положения дроссельной заслонки рис. 3.

⁵ Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental studies of cylinder group state during motoring // Procedia Engineering 2. Ser. "2nd International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2016". 2016. P. 1188–1191; Учебные стенды-тренажеры по электрооборудованию автомобилей / С. С. Куков [и др.] // Вестник ЧГАУ. 2006. Т. 47. С. 67–69.

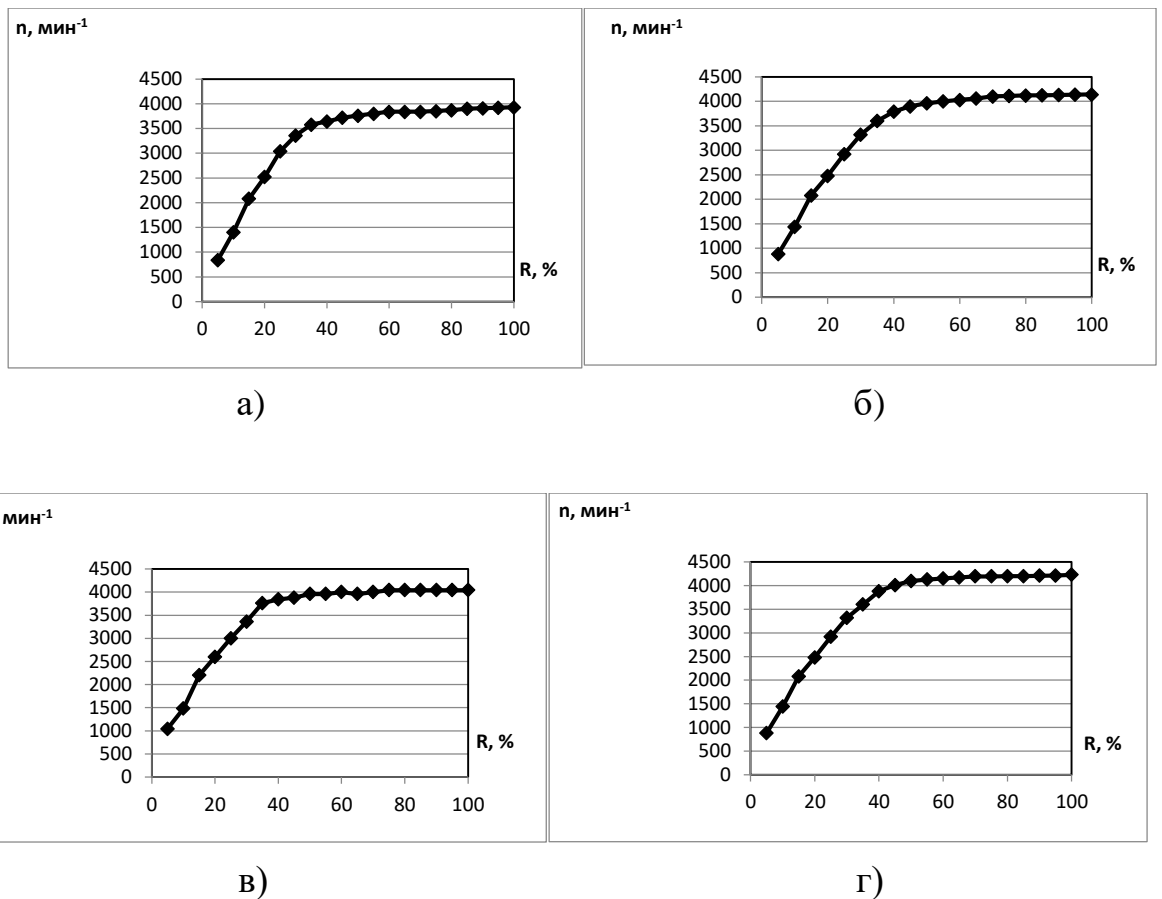


Рис. 3. Зависимость частоты вращения коленчатого вала ДВС n , мин^{-1} от положения дроссельной заслонки R , % при работе: а) на первом цилиндре (2, 3, 4 выключены); б) на втором цилиндре (1, 3, 4 выключены); в) на третьем цилиндре (1, 2, 4 выключены); г) на четвертом цилиндре (1, 2, 3 выключены)

Анализ данных на рис. 3 показывает, что наиболее герметичный цилиндр, которым является четвертый, развивает наибольшую максимальную частоту вращения коленчатого вала ДВС – 4230 мин^{-1} при максимальной степени открытия дроссельной заслонки. Далее по степени износа следует второй цилиндр с утечкой в конце такта сжатия – 22 %. Контроль частоты вращения коленчатого вала развиваемой вторым цилиндром при максимальной степени открытия дроссельной заслонки показал значение – 4140 мин^{-1} . И контроль наиболее изношенных цилиндров третьего и первого выявил результат: 4040 и 3930 мин^{-1} . Максимальная разность частот вращения коленчатого вала ДВС возникает между результатами контроля четвертого и первого цилиндров $\Delta n_{4,1} = n_4 - n_1 = 4230 - 3930 = 300 \text{ мин}^{-1}$. В процентном отношении эта величина достигает значения – 7 %. Достаточно чувствительный параметр – частота вращения коленчатого вала при условии точности измерения – $1-3 \text{ мин}^{-1}$.

Выводы. В начальной части работы был проведен анализ причин отказа ДМРВ, были выявлены основные факторы, способствующие снижению его ресурса. Среди самых важных – экстремальные условия работы ДМРВ. Применение прибора ДБД-4 и тестовых методик диагностирования ДМРВ позволяет существенно повысить точность контроля при достоверности оценки не менее 0,92.

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ ВПУСКА АВТОМОБИЛЕЙ

Гриценко А.В. – д.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Гордюшкин А.В. – магистр, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Ваулин М.В. – магистр, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

В статье рассматриваются вопросы контроля и диагностирования системы впуска современных автомобилей. Приводится диагностическое средство: USB Autoscope II с акселерометром на магнитном креплении. Контроль осуществляется на основе анализа виброамплитуд и виброчастот. Данный метод показал высокую эффективность при его использовании в эксплуатационных условиях: достоверность оценки составила 0,92.

Сложность виброакустических процессов, генерируемых современными автомобильными узлами и механизмами, определяется различиями в массовых, инерционных, скоростных составляющих¹. В целом частотный диапазон измерений ранжируем по трем категориям: 1. Область сверхмалых и малых частот (0 - 300 Гц); 2. Область средних частот (300 Гц - 2 кГц); 3. Область высоких и сверхвысоких частот (2 кГц - 20 кГц)². Многими исследованиями доказано, что основная часть энергии виброударов клапанов ГРМ сосредоточена в узком диапазоне частот от 6-8 кГц³. Сигнал вибрации, регистрируемый акселерометром на головке блока цилиндров при взаимодействии клапана и седла, формируется из серии ударных импульсов, которые проходят через конструкцию двигателя по основному и дополнительным каналам⁴. Кроме полезных сигналов от ГРМ, множественные вибрации распространяются от других источников, являющихся помехой и требующих фильтрации рис. 1.

¹Злотин Г.Н., Лютин К.И. Анализ вибрационных свойств двигателя применительно к системам вибродиагностики механизма газораспределения // Известия Волгоградского государственного технического университета, 2008. Т. 1. № 6(44). С. 8–11. ISSN 1990-5297.

²Лютин К.И., Федянов В.Е. Вибродиагностика систем ДВС с использованием нейронных сетей // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт, 2007. Т. 2. № 8 (34). С. 88–90. ISSN 2500-0586.

³Gritsenko A., Kukov S., Glemba K. Theoretical underpinning of diagnosing the cylinder group during motoring. Procedia Engineering. 2016. Т. 150. С. 1182-1187.

⁴Plaksin A., Gritsenko A., Glemba K. Experimental studies of cylinder group state during motoring. Procedia Engineering. 2016. Т. 150. С. 1188-1191.

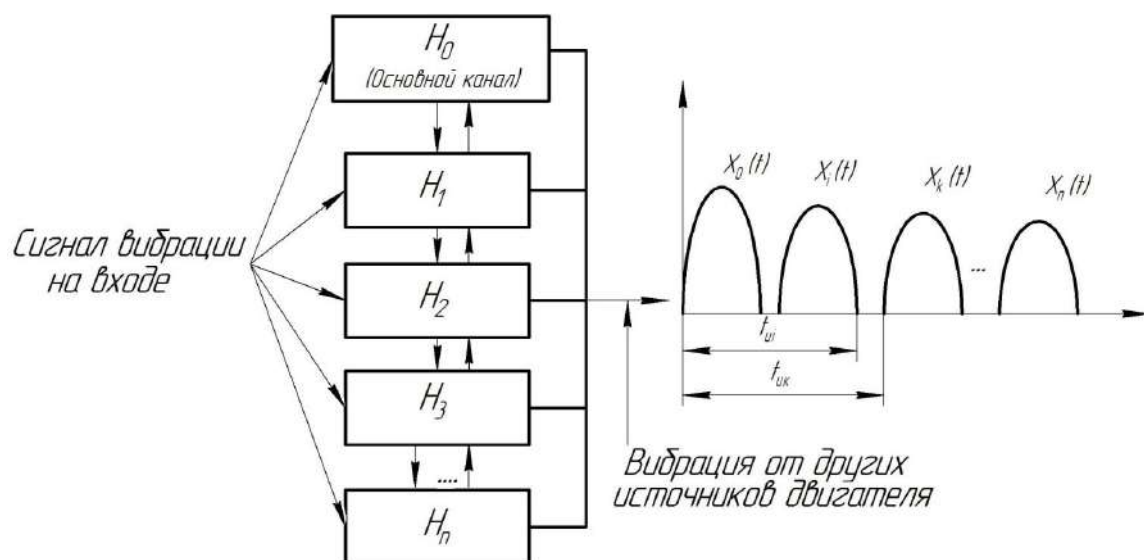


Рис. 1. Схема комплексной диагностической модели диагностирования ГРМ с множеством случайных входных величин H_1, H_2, H_3 и H_n и случайных выходных $X_0(t), X_i(t), X_k(t), X_n(t)$ с параметрами разделения во времени t_{ui} и t_{uk} ,

На рис. 1 видно несколько входных вибросигналов $H_0 - H_n$. Данные сигналы могут находиться в пределах одной частоты, но скорость и ускорение удара может существенно отличаться, что определяется конкретным зазором ГРМ⁵. После измерения на выходе присутствует комплекс смешанных сигналов, из которых часть подлежит фильтрации до выделения нужных⁶. После чего осуществляется их диагностический анализ и последующая обработка⁷. При выборе места приложения акселерометра рассматривалось несколько точек его приложения рис. 2.

⁵Gritsenko A.V., Zadorozhnaya E.A., Shepelev V.D. Diagnostics of friction bearings by oil pressure parameters during cycle-by-cycle loading. Tribology in Industry. 2018. Т. 40. № 2. С. 300-310.

⁶Гриценко А.В. Метод диагностирования систем ДВС по тестовому контролю правильности функционирования систем. В сборнике: Экономика и производство. Сборник научных трудов. под редакцией В.В. Ерофеева. Челябинск, 2012. С. 113-121.

⁷Гриценко А.В., Глемба К.В., Куков, С.С. Методические приемы повышения точности диагностирования подшипников коленчатого вала АПК России. 2010. Т. 57. С. 51-56.

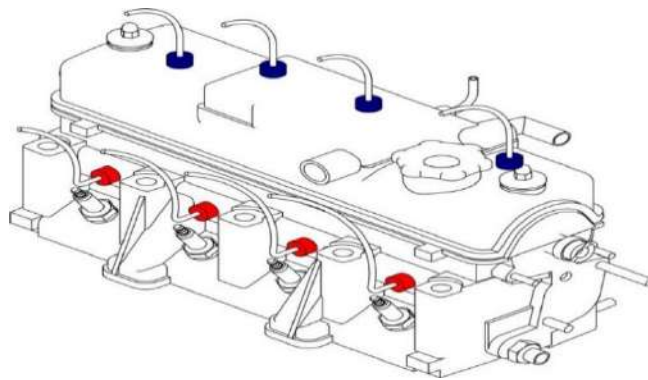


Рис. 2. Несколько точек приложения акселерометра

В процессе измерения верхние точки размещения акселерометра были исключены рис. 2, т.к. демпфирующее действие оказывала прокладка⁸. А вот варианты указанные красным цветом идеально подошли с точки зрения приближенности к процессу и жесткости передачи сигналов⁹.

На начальном этапе были установлены нулевые зазоры и проведены измерения сигналов в характерных точках. Далее с точностью наоборот зазоры в отдельных клапанах ГРМ были предельно увеличены и зафиксированы результаты рис. 3.

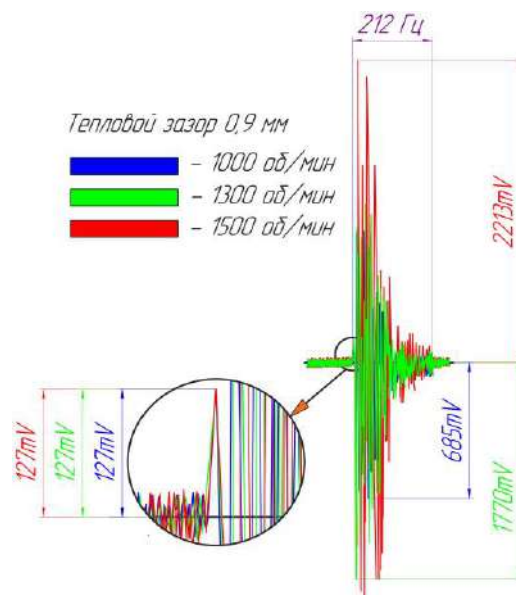


Рис. 3. Амплитудно-частотная характеристика полученная с акселератора, установленного напротив первого цилиндра ДВС

⁸Гриценко А.В. Алгоритм, информационные характеристики процесса технического диагностирования, методики проектирования и оптимизации устройств диагностирования. АПК России. 2013. Т. 63. С. 38-41.

⁹Гриценко А.В., Куков С.С. Диагностирование автомобильных генераторов по осциллограммам напряжения. Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 2. С. 13-15.

При снятии осциллограмм в виде амплитудно-частотных характеристик были выдержаны три режима (режим определяется параметром: частота вращения коленчатого вала ДВС): 1) $n=1000 \text{ мин}^{-1}$; 2) $n=1300 \text{ мин}^{-1}$ и 3) $n=1500 \text{ мин}^{-1}$. При 1500 мин^{-1} получена в несколько раз большая амплитуда сигнала, которая и принята за чувствительный режим оценки технического состояния клапанов ГРМ. По сравнению с нулевым зазором величина сигнала для максимального зазора клапана ГРМ увеличилась в 2000 раз. Это очень информативный диагностический параметр, который по уровню достоверности соответствует требованиям ГОСТ.

После чего были проделаны множественные эксперименты с широким перечнем устанавливаемых зазоров и получены следующие экспериментальные кривые рис. 4:

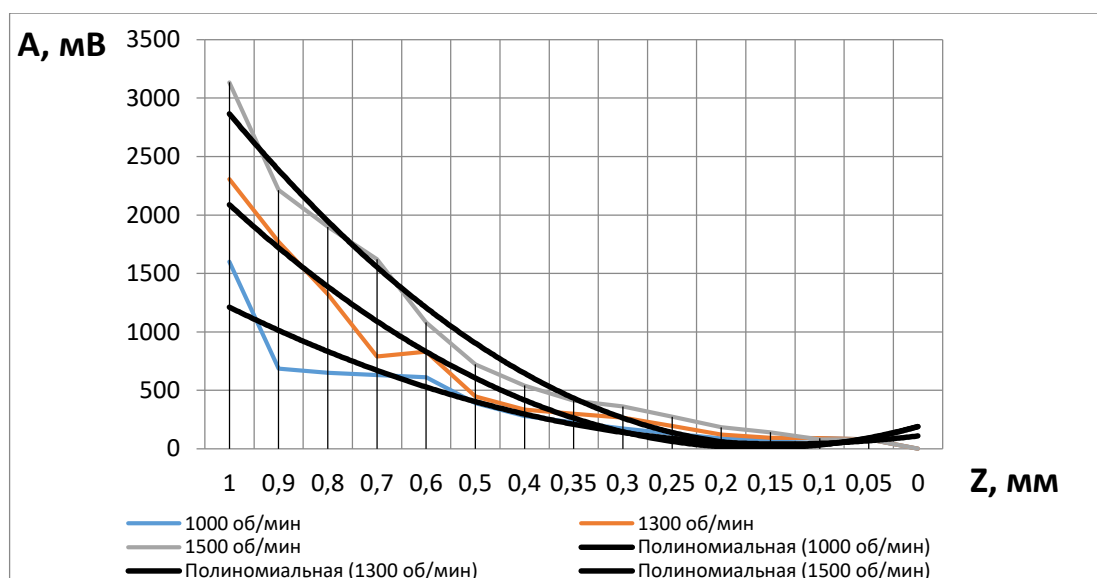


Рис. 4. Экспериментальные зависимости амплитудных параметров А, мВ от величины зазоров Z, мм в клапанах ГРМ

Как видно из рис. 4 с минимальных значений зазора фактически по экспоненциальному закону изменяется амплитуда вибропараметра¹⁰. Причем в зоне предельных зазоров сигнал легко распознается записывающей аппаратурой и любое сочетание зазоров определяется с большой точностью¹¹.

¹⁰Гриценко А.В., Машрабов Н., Барышников С.А., Балясников А.С., Астахов А.О. Совершенствование методик виброакустического контроля газораспределительного механизма ДВС. АПК России. 2019. Т. 26. № 2. С. 193-202.

¹¹Гриценко А.В., Машрабов Н., Барышников С.А., Балясников А.С., Савосин В.С. Виброакустический контроль газораспределительного механизма ДВС. АПК России. 2019. Т. 26. № 2. С. 203-215.

Выводы: Таким образом в данном материале раскрыты особенности процесса диагностирования клапанов ГРМ современных автомобилей. Данный метод может быть широко использован машиностроительными и обслуживающими организациями для контроля ГРМ на любом пробеге.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ СКЛАДСКИХ КОМПЛЕКСОВ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГИСТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЕ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЁМНОГО РАЙОНА РОССИИ

Гуськов А.А. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Анохин С.А. – старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Залукаева Н.Ю. – старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»

Аннотация

В статье рассматривается проблематика создания и развитие транспортно-логистической системы России. Приводятся и анализируются проблемы организации транспортно-складских комплексов в регионах. Описываются цели и задачи создания транспортно-логистической системы в Центральном-чернозёмном районе РФ, а также модель её функционирования.

В настоящее время важным значением для экономики страны является повышение эффективности функционирования транспортно-логистических систем. Для достижения данных целей необходимо повышать качество автомобильных дорог и железнодорожных путей, увеличивать объёмы грузопотоков и скорости доставки груза, производить выбор оптимального и экономически обоснованного подвижного состава, а также ряда других факторов¹. Российская Федерация во многом уступает другим странам при сравнении основных показателей транспортно-логистического рынка (табл. 1).

¹ Кузменко Ю.Г., Грейз Г.М., Калентеев С.В. Транспортно-логистическая система как субъект социально-экономического развития региона // Известия Уральского государственного экономического университета. 2013. № 2 (46). С. 111-118; Инфраструктура автотранспортного комплекса [Электронный ресурс]: учебное пособие // С.А. Анохин, Н.Ю. Залукаева, А.А. Гуськов, В.А. Гавриков. Тамбов. Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2018. URL: <https://tstu.ru/book/elib3/mm/2018/AnGus> (Дата обращения: 29.01.2021 г.).

Табл. 1

Сравнение основных показателей транспортно-логистического рынка, млрд.
долл.

	Транспортно-логистический рынок	Рынок транспортно-логистических услуг (логистический аутсорсинг)	Доля аутсорсинга, %
США	1141,9	928,3	81,3
Европа	1197,9	773,9	64,6
Китай	1210,6	593,2	49,0
Россия	307,7	99,7	32,4
Мир, всего	7322,0	4027,0	55,0

Рынок логистических услуг в РФ распределяется следующим образом²:

- транспортно-экспедиторские компании – 48%;
- складские операторы – 42%;
- поставщики ИТ – 6%;
- дистрибуторы – 2%;
- другие компании – 2%.

В нашей стране эксплуатируется около 30 млн м² складских помещений, которые расположены в Московской и Ленинградской областях – 56% и 13% соответственно. В связи с этим возникает объективная проблема нехватки современных транспортно-складских комплексов в развивающихся регионах.

Основные проблемы для организации транспортно-логистической деятельности на территории России и за рубежом:

- несовершенная законодательная база, которая не позволяет обеспечить защиту и ответственность экспедитора перед грузовладельцем;
- непрозрачность рынка транспортно-логистических услуг России;
- недостаточный уровень квалификации персонала в транспортно-логистической отрасли;
- несоответствие законодательства нашей страны международному в части транспортно-логистических операций с грузопотоками, что отрицательно влияет на уровень инвестирования в инфраструктуру на межгосударственном уровне.
- низкий уровень знаний логистики как в транспортной отрасли, так и в промышленности.

² Лавриков, И. Н. Транспортная логистика: учебное пособие / И.Н. Лавриков, Н.В. Пеньшин. Тамбов: Изд-во ФГБОУ ВО «ТГТУ», 2016. 92 с.

Главными задачами развития рынка транспортно-логистических услуг являются создание складской логистической инфраструктуры и(или) сети складских комплексов на территории России, аренда современных складских площадей по приемлемым ценам, а также развитие и комплексное внедрение новых информационных технологий во все транспортно-логистические этапы организации перевозок грузов.

Основной логистической сети страны должны стать терминалы малой и средней мощности, вблизи населенных пунктов с населением порядка 250-300 тыс. человек. Такие комплексы будут обслуживать отдельно взятый регион и соседние области, что позволит сократить «плечо доставки», которое в настоящий момент в регионах составляет, порядка 250 км, что, в первую очередь, сказывается на качестве и конечной стоимости товара³.

На государственном и региональном уровнях разрабатываются федеральные и муниципальные программы развития транспортно-логистического комплекса страны с учетом специфики регионов⁴. К 2030 г. планируемый рост сферы логистики России обозначен в 1,5 раза и составит более 11 млн руб. В структуре рынка аутсорсинговой логистики однозначно преобладает транспортировка, и как видно из рис. 1, именно данный показатель будет значительно расти в ближайшие десять лет. Однако стоит заметить, что доля складов остаётся в прогнозе на 2030 г. также на достаточно низком уровне – 4%. Хотя можно отметить, что данный показатель и вырастет на более чем 150 млн руб., но недостаточно приемлемым для объёмов перевозимых грузов⁵.

³ Лоншаков А.А. Анализ эффективности создания терминальных систем малой и средней мощности // Техника и технология транспорта. 2020. № 3 (18). С. 8.

⁴ Уртминцев Ю.Н., Железнов С.В., Ситнов А.Н. Создание транспортно-логистического комплекса в центральной Якутии: проблемы и перспективы // Вестник Волжской государственной академии водного транспорта. 2013. №35. С. 316-320; Арженовский И.В., Невретдинов М.Р. О развитии транспортно-логистического комплекса региона // Приволжский научный журнал. №4 (28). 2013. С. 162-165; Калентеев С.В., Окольников И.Ю., Шиндина Т.А. К вопросу об оценке эффективности транспортно-логистической системы обслуживания межрегиональных грузопотоков в Уральском федеральном округе // Т.8. №1. 2014. С. 126-135; Цай Е.Л. Транспортно-логистический комплекс Мурманской области и его характеристики // Север и рынок: формирование экономического порядка. № 6 (43). 2014. С. 76-81.

⁵ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 22 ноября 2008 года № 1734-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации на период до 2030 года».

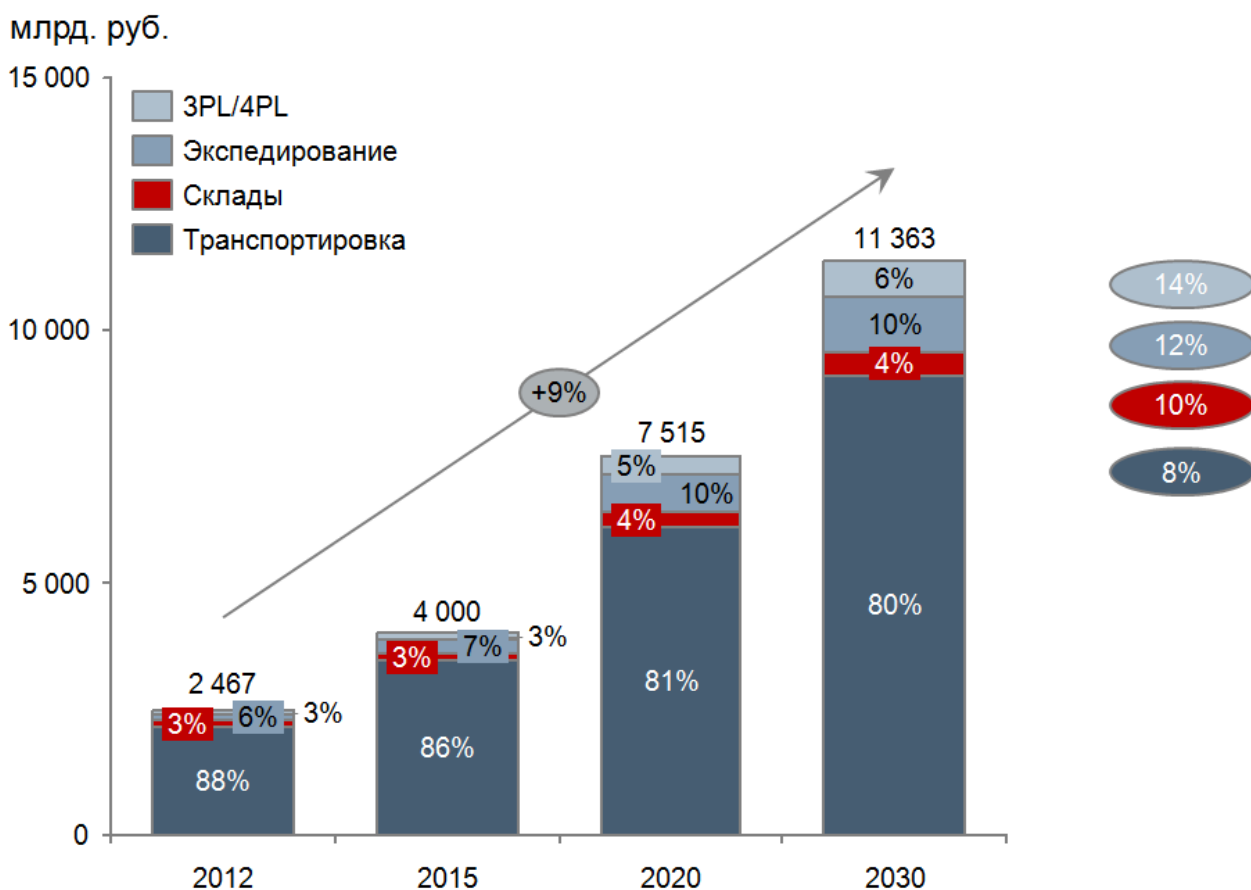


Рис. 1. Рынок аутсорсинговой логистики России

На рынке транспортно-логистических услуг самыми перспективными выглядят компании интеграторы (4PL-провайдеры), которые выполняют деятельность 3PL-провайдеров, но могут возлагать на себя централизованные обязанности по выстраиванию всей цепочки поставки грузов (рис. 2). Они занимаются перераспределением транспортных и логистических функций между различными операторами, которые участвуют в деятельности по организации конкретной транспортировки. На данный момент очень сильно размыта граница между транспортными и нетранспортными услугами. Если ранее перевозчик имел возможность только лишь перевозить, то теперь с появлением терминальных технологий транспортировки, могут также обеспечить осуществление различных нетранспортных услуг. Компании-интеграторы таким образом и следят за организацией всего процесса перевозки с обеспечением оказания различных услуг.



Рис. 2. Структура рынка транспортно-логистических услуг

Отдельным направлением развития транспортно-логистических услуг является внедрение системы саморегулирования. Она представляет собой относительно новый институт управления в современной экономике. Она является передовым инструментом, воплощения всероссийской концепции оптимизации процедуры государственного контроля в социально-экономическую сферу. Множество исследований, и глубокий анализ ситуации показывает, что система саморегулирования, которая в основе своей представляет организацию предпринимателей, способна решать первостепенные задачи по объединению между собой производителей, государство, общество, способствовать развитию партнерства на уровне государственно-частных взаимоотношений. Вовлечение бизнеса в процессы разработки и принятия нормативно-правовых актов, регулирующих транспортно-складскую деятельность⁶.

Переход организаций, осуществляющих логистическую деятельность, на принцип саморегулирования позволит, сбалансировать промышленно-финансовые и надзорные функции терминальной отрасли России, которые в настоящее время в полной мере осуществляются исключительно государственными учреждениями. И, что немаловажно – дать толчок для

⁶ Гуськов А.А., Лоншаков А.А., Гавриков В.А., Лавриков И.Н. К вопросу об организации межрегиональных транспортно-складских комплексов // Устойчивое развитие региона: архитектура, строительство, транспорт. Материалы VII-ой Международной научно-практической конференции. 2020. С. 325-330.

развития сектора менеджмента предоставляемых услуг. Это позволит повысить привлекательность транспортных компаний.

При активном внедрении принципов саморегулирования возможно снять с государства часть надзорных и «карательных» функций, тем самым разгрузив органы исполнительной власти для повышения качества и безопасности услуг по перевозке грузов. А созданные саморегулируемые объединения наделить этими полномочиями, прописав в федеральных законах ответственность таких компаний за организацию и ведение комплексного контроля, действий по повышению эффективности отрасли логистики.

Учитывая важность системы саморегулирования для эффективного функционирования логистического рынка транспортных услуг, опираясь на результаты научных исследований ведущих специалистов в области логистики, следует признать необходимость постепенного перехода к её активному использованию. Но, стоит принять во внимание, что процесс их формирования – это процедура добровольная, не терпящая принуждения со стороны государства, в противном случае не будет достигнуто должного результата.

Активное развитие производства, высокий уровень конкуренции на рынке грузовых перевозок, заставляют компании разрабатывать системные методы управления логистическим процессом. Эти меры позволяют сократить время нахождения груза в пути, усовершенствовать погрузо-разгрузочные работы, внести качественные коррективы в процедуру складирования и хранения товаров. Для модернизации системы управления логистическим процессом необходимо внедрение систем, позволяющих максимально автоматизировать и упростить складские операции⁷.

Оптимизация терминальных процессов достигается следующими мерами:

- создание методики информационной идентификации входящего грузового потока;
- внедрение технологии адресного расположения грузовых мест, позволяющая, минимизировать поиск необходимого под погрузку товара и его рационального расположения на территории складского комплекса;
- внедрение системы дистанционного управления рабочим персоналом.

⁷ Резер А.В. Проблемы развития транспортно-логистического комплекса // Транспортное дело России. 2010. № 12S. С. 146-148.

Данные системы должны формировать задания для непосредственного исполнения: подборка грузов, упаковка, маркировка, объединение в укрупненную грузовую единицу, документальное сопровождение, а также обеспечивать управление персоналом склада и техническими средствами. Для дистанционного наблюдения за ходом выполнения операций возможно создание контрольных служб. При ручной обработке входящих задач, высока роль «человеческого фактора». Персоналу проблематично обрабатывать большое количество поступающих запросов о местонахождении того или иного груза, учащаются ошибки и задержка производства. При высоких издержках складского производства и ограниченности квалифицированных кадров, затруднительно найти необходимое количество операторов склада. Ключевыми факторами внедрения автоматизированной системы становятся: высокие общие затраты на транспортно-складскую деятельность; рост убыточного фонда, по причине хищения, порчи, потери товаров; недовольство внешних потребителей услуг и внутреннего управления, качеством выполнения задач.

Преимуществами использования автоматизированных информационных систем в процессе хранения грузов являются:

- исключение необходимости ручного управления складскими операциями;
- обобщение и ведение в автоматизированном режиме сопроводительной документации;
- составление индивидуальных рабочих заданий для каждого сотрудника на ежедневной основе;
- фиксация проведения всего рабочего процесса на электронных носителях с применением обобщенной базы данных;
- отражение любых отклонений в работе логистической системы в режиме реального времени с возможностью своевременного устранения возникших проблем.

Автоматизированная программа управления должна функционировать в тесном взаимодействии с общими каналами контроля, что позволит оперативно получать полную информацию о поступающих заказах, характере груза, подготавливать экспедиторскую документацию. С помощью данных систем возможно получить подробный анализ эффективности работы складского

комплекса, что позволит в режиме реального времени вносить необходимые коррективы.

Это позволит систематизировать и упорядочить работы с грузовыми потоками различной спецификации. При реализации принципа «адресного хранения» грузомест, точность обработки количества и территориального расположения товара составит более 95%. Всё это повышает эффективность использования складских площадей – от 5 до 25%, по сравнению с аналогичными показателями, при ручной обработке процессов. Осуществление деятельности посредством автоматизированной системы, позволяет повысить качество обслуживания, путем устранения очередей на стадии формирования и отгрузки партии. Исключается факт пересорта или отправки недоукомплектованного состава, что снижает логистические издержки на процедуру доотправки и приема излишней части. За счет повышения уровня управления персоналом, средняя скорость обработки поступающей задачи увеличивается на 20-30%. Ситуации, когда рабочий персонал задерживает выполнение заказа, по причине невозможности поиска товара на складе, сокращается до минимума. Обмен информацией в режиме «online», облегчает контролируемому отделу процедуру учета складских операций. Таким образом, можно выделить основные факторы для организации автоматизированного складского процесса с помощью специализированных программных средств: достижение высокой скорости грузового потока, минимизация перевозочных издержек, учет складских и межтерминальных трансферов, создание единой информационной и документационной базы, обработка (прием, расформирование, укрупнение грузовых мест, маркировка, подготовка к отгрузке), работа с грузами транзитного типа.

На данный момент времени в центрально-чернозёмном районе (ЦЧР) России ощущается недостаток качественных логистических услуг. Ключевыми направлениями при разработке сети транспортно-логистических комплексов должно являются:

- необходимость создания интеграции всех видов транспорта;
- улучшение составляющих транспортной инфраструктуры.
- оптимизация грузопотоков и пассажиропотоков.

При анализе на территории ЦЧР и соседних регионов существующих транспортно-логистических комплексов, а также потребностей в перевозках

грузов были выделены сильные и слабые их стороны. Сильными сторонами являются: выгодное географическое положение, развитие в области промышленности и производств, которые нуждаются в использовании современных услугах логистики и т. д. Слабые стороны: низкие темпы развития дорожной сети, слабый уровень оснащения и развития наземной инфраструктуры, нет объездных дорог крупных городов области.

Многие существующие транспортно-логистические комплексы находятся в неудовлетворительном состоянии или технологически устарели. Поэтому следует отдельное внимание уделить реконструкции действующих складских помещений. В большинстве случаев именно реконструкция вместо строительства новых комплексов будет выгоднее. Так, к примеру, на создание «с нуля» терминального комплекса мощностью 50 тыс. тонн, требуется инвестировать порядка 950 млн рублей. Для переоборудования помещений под новые вызовы производства требуется на 2/3 меньше денежных средств – 250 млн рублей. Достигается это путем отказа от фундаментального строительства, подведения коммуникаций и подъездных путей. Затраты ограничиваются ремонтом существующего сооружения, созданием необходимых вспомогательных построек (административных зданий, ж/д платформы и т. д.). Переоборудование комплекса современными, автоматизированными системами управления, механизмами погрузки-разгрузки, документооборота.

На основе выше указанных факторов для оптимизации грузовых потоков создание на территории ЦЧР предлагается организация складских комплексов, развитие транспортных узлов и т. д. Исходя из географического положения организация транспортно-складского комплекса возможно на территории Тамбовской области.

Следствием всех этих изменений, становятся качественные преобразования на рынке транспортных услуг. Подводя итоги рассмотрения данного вопроса, предлагается единый скрипт развития логистики регионов:

- удовлетворение потребностей участников рынка,
- повышение качества обслуживания за счет ускорения доставки грузов до получателя;
- создание дополнительных, высококвалифицированных рабочих мест;

- развитие регионов, путем реализации комплексных программ поддержки бизнеса;
- наличие в субъектах федерации достаточного количества производственных мощностей, для создания логистической сети;
- обеспечение бесперебойного и максимально эффективного производства на всех территории страны;
- освоение, путем создания современной базы доставки и хранения, новых сегментов рынка, в первую очередь «интернет-ритейлинг».

Таким образом, организация транспортно-логистических и складских комплексов на территории Центрально-чернозёмного района России позволит снизить стоимость товаров и услуг, создать новые рабочие места, увеличить оборот оптовой и розничной торговли и повысить уровень сервиса обслуживания покупателей, инвестиционную привлекательность региона с развитой транспортно-складской инфраструктурой, улучшение экологической обстановки за счёт сокращения перепробегов транспортных средств.

ПЕРСПЕКТИВЫ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРА

Демиденко Н.Д. – студент, НИУ «Московский государственный строительный университет»

Научный руководитель: Романова Т.Н. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Аннотация

В статье рассматриваются перспективы электрификации на транспорте. Приводятся примеры мероприятий, осуществляемых в рамках государственных программ, для развития электротранспорта. Оценивается рост продаж электрокаров. Анализируются авторитетные прогнозы, характеризующие будущее мировой энергетики.

Правительства многих стран ведут активную работу по сокращению потребления энергии, получаемой за счет ископаемого углеводородного топлива, и переходу к низкоуглеродной энергетике¹. Это связано с обеспечением энергетической безопасности стран (в том числе зависящей от исчерпания разведанных запасов органического топлива и неравномерного распределение его залежей²) и с последствиями сжигания углеводородного топлива для климата.

Несмотря на современную конкуренцию отдельных видов топлива между собой, существует ряд уникальных применений отдельных энергоресурсов в некоторых технологических секторах. Это, например, использование в мобильной энергетике жидких топлив, полученных из нефти. Сегодня наибольшая доля спроса на нефтепродукты приходится именно на транспортный сектор.

Потребление первичной энергии на транспорте составляет 27% от общемирового; 95% энергопотребления транспортом обеспечивается за счет нефтепродуктов, а 48% топлива потребляется легковыми автомобилями.

В США в 2019 г. 70% нефтепродуктов в стране было израсходовано в транспортном секторе³. Транспорт – самый большой и самый расточительный сектор нефтепродуктов (на нефть приходится 91%), а двигатели внутреннего

¹ Демиденко Н.Д. Современное состояние мирового энергетического хозяйства // В сборнике: Юность и знания-гарантия успеха / Сборник научных трудов 6-й Международной молодежной научной конференции. 2019. С. 39-42.

² Демиденко Н.Д. Современные тенденции энергообеспечения стран-участниц европейского союза// Modern Science. 2019. № 9-1. С. 250-254.

³ U.S. energy consumption by source and sector, 2019. URL: https://www.eia.gov/totalenergy/data/monthly/pdf/flow/css_2019_energy.pdf (Дата обращения: 10.01.2021)

сгорания (самые распространенные виды двигателей в мире) используются почти на всем транспорте в США.

В ЕС на автомобильный транспорт также приходится 71% от общего объема потребления нефти (в том числе наибольшая доля потребления топлива в секторе)⁴.

9 октября 2019 г. в Германии принята Программа действий на период до 2030 г., по которой страна приступила к осуществлению перехода к низкоуглеродному энергобалансу. Эта инициатива включает в себя поэтапный отказ от угля и атомной энергии и развитие возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Основные цели программы – закрытие атомных электростанций к 2022 г. и использование ВИЭ для выработки 65% электроэнергии страны к 2030 г. Для реализации целей теплофикационному и транспортному секторам в стране предоставляются налоговые льготы и стимулы, в том числе субсидии на электромобили и инвестиции в общественный транспорт.

Таким образом, современная мировая энергетика меняет устоявшуюся структуру энергопотребления, открывая для конкуренции различных топлив прежде недоступные сегменты. Государственное распределение используемых источников энергии по секторам является результатом наличия собственных энергоресурсов в стране, освоенных технологий производства энергии и социальных предпочтений, а применение энергоэффективных (ЭЭ) технологий использования топлив может обеспечить в промышленности до 40% эффекта сбережения энергии, в электроэнергетике – 25%, на транспорте – 20%.

Одним из направлений структурной перестройки энергопотребления стран является переход с прямого использования топлива на универсальный энергоноситель – электроэнергию, в силу простоты и удобства его использования. В настоящее время происходит электрификация во всех секторах потребления. Средний годовой показатель роста потребления электроэнергии в период с 2000 по 2018 гг. составил 3%. В 2018 г. мировой спрос на электроэнергию, параллельно с повышением ЭЭ, увеличился на 4%. Но в 2019 г. потребление электроэнергии в мире упало из-за снижения темпов экономического роста (прирост составил только 0,7%).

⁴ Транспорт: рост потребления нефти и выбросов парниковых газов сдерживает прогресс ЕС в достижении целей в области окружающей среды и климата/ ERAI [Электронный ресурс]. URL: <https://index1520.com/analytics/transport-rost-potrebleniya-nefti-i-vybrosov-parnikovykh-gazov-sderzhivaet-progress-es-v-dostizhenii/> (Дата обращения: 10.01.2021)

Страны с развитой экономикой, как правило, характеризуются высоким уровнем электрификации и, возможно, именно через электроэнергетику сможет усилить свои позиции межтопливная конкуренция и снизится зависимость определенных технологических процессов от отдельных энергоносителей.

На фоне значительного сокращения стоимости электромобилей и государственной поддержки этого сектора экономики, использование электромобилей начало увеличиваться по экспоненте. И хотя в целом на электрокары пока приходится лишь 1,3% всех мировых автомобильных продаж, в некоторых странах их доля уже довольно существенна, например, в Норвегии это 39,2% всех продаж, а в Исландии – 14%.

В развитии рынка электромобилей заинтересованы не только государства, но и производители. Все крупные автоконцерны уже имеют электромобили в своих модельных линейках, а некоторые планируют полный перевод транспорта на электропривод к 2026–2030 гг.

В 2017 г. в мире было продано 1,2 млн электромобилей, а в 2018 г. – 2 млн. Бесспорным лидером в 2018 г. была Tesla с показателем – 222 967 электромобилей (в том числе, Tesla Model 3 – 144 285 ед.).

Несмотря на замедление роста рынка, по итогам 2019 г. был установлен рекорд по численности проданных электромобилей в мире (2,2 млн ед.), а по сравнению с 2013 г. парк автомобилей на электрической тяге увеличился в 10 раз. В 2019 г. лидером продаж осталась Tesla, которая продала 304 783 электромобилей (в том числе, Tesla Model 3 – 252 382 ед.).

В 2020 г. мировой спрос на легковые автомобили сократился на 15%, что нанесло удар по автомобильной и смежным отраслям промышленности. Однако спрос на электромобили за год вырос на 43,4%, превысив отметку в 3,24 млн ед.

Необходимым фундаментом для политических и экономических стратегических решений по выбору направления развития энергетики государств являются надежные аналитические данные и обоснованные прогнозы, характеризующие будущее мировой энергетики. Ежегодные энергетические обзоры и прогнозы публикуются в авторитетных источниках, например, в отчетах Мирового энергетического агентства (IEA), Института энергетических исследований Российской академии наук (ИНЭИ РАН) и др.

Неопределенность в Мировой энергетике, изменение целей развития стран в перспективе на 5–20 лет дает, во-первых, быстрое устаревание уже сделанных

прогнозов и, во-вторых, значительный разброс значений основных прогнозных показателей в разных источниках.

Согласно Прогнозу–2016 ИНЭИ РАН, ожидалось, что к 2040 г. доля электроэнергии в транспортном секторе займет от 4 до 6% в общем объеме спроса на энергию в зависимости от сценария (рис. 1)⁵. В базовом 2015 г. потребление электроэнергии на транспорте составляло 1%.

Согласно Прогнозу–2019 ИНЭИ РАН, в транспортном секторе к 2040 г. будет по-прежнему доминировать в секторальном разрезе спрос на нефтепродукты (59%–82%) (рис. 2)⁶. Но, как видно, на период до 2040 г. можно ожидать увеличение доли потребляемой электроэнергии от 11% до максимальных 32% по сценарию «Энегопереход». Таким образом, прогнозируемый спрос на электроэнергию в консервативном сценарии Прогноза–2019 почти в 2 раза превышает прогнозные цифры самого благоприятного сценария Прогноза–2016.

По прогнозам WEO–2018 (IEA)⁷ электроэнергия позиционируется, как «топливо» будущего, а быстрый рост подталкивает электроэнергию к 20%-ой доле в общем конечном потреблении энергии. Таким образом, пик нефти для легковых автомобилей проходит в середине 2020-х гг.

По прогнозу AEO–2020 EIA U.S. электроэнергия является самым быстрорастущим источником энергии в транспортном секторе (благодаря увеличению спроса на электрические легкие транспортные средства), увеличиваясь в среднем на 7,4% в год к 2050 г. Но несмотря на этот рост, на 2050 г. доля электроэнергии составляет менее 2% потребления топлива⁸.

⁵ Прогноз развития энергетики мира и России 2016 / под ред. А.А.Макарова, Л.М.Григорьева, Т.А.Митровой; ИНЭИ РАН–АЦ при Правительстве РФ. Москва. 2016. 196 с. URL: <https://ac.gov.ru/files/publication/a/10585.pdf> (Дата обращения: 10.01.2021)

⁶ Прогноз развития энергетики мира и России 2019 / под ред. А. А. Макарова, Т. А. Митровой, В. А. Кулагина; ИНЭИ РАН–Московская школа управления СКОЛКОВО. Москва. 2019. 210 с. URL: https://energy.skolkovo.ru/downloads/documents/SEneC/Research/SKOLKOVO_EneC_Forecast_2019_Rus.pdf (Дата обращения: 10.01.2021)

⁷ Russian Translation of World Energy Outlook, OECD/IEA, 2018 URL: <https://webstore.iea.org/download/summary/190?fileName=Russian-WEO-2018-ES.pdf> (Дата обращения: 10.01.2021)

⁸ Annual Energy Outlook 2020 with projections to 2050. U.S. Energy Information Administration Office of Energy Analysis. URL: <https://www.eia.gov/outlooks/aeo/pdf/aeo2020.pdf> (Дата обращения: 10.01.2021)



Рис. 1. Структура мирового спроса на энергию в транспортном секторе в 2015 г. и в перспективе на 2040 г. по данным Прогноза– 2016



Рис. 2. Структура мирового спроса на энергию в транспортном секторе в 2015 г. и в перспективе на 2040 г. по данным Прогноза– 2019

Сегодня ограничения на пути широкой электрификации автотранспорта в большей степени зависят от технологических сложностей хранения энергии. Важнейшую роль в совершенствовании накопителей энергии играет именно электрификация транспортного сектора. В настоящее время используются различные способы аккумуляции и, благодаря стимулированию НТП, за последние несколько лет появились оптимальные системы хранения энергии для создания полностью электрических автомобилей. На снижение производственных затрат накопителей должно оказать влияние использование новых материалов с более низкой стоимостью, масштабирование производства батарей и создание вертикально-интегрированных цепочек производства. По заявлениям крупнейших автоконцернов, уже в ближайшие годы стоимость аккумуляции энергии может снизиться на 35–40%. Целевым показателем для достижения полной экономической конкурентоспособности является

снижение стоимости автомобильного накопителя в 1,5–2 раза⁶. Разумеется, достижение таких стоимостных параметров требует массового объема производства электрокаров и систем хранения.

Дальнейшие перспективы роста потребления зависят от того, как быстро электричество сможет увеличить свою роль в качестве энергоносителя для транспорта, а прогнозируемое дальнейшее увеличение парка электромобилей, должно в перспективе еще повысить уровень электрификации.

ЦИФРОВИЗАЦИЯ КОНТЕЙНЕРНЫХ ГРУЗОПЕРЕВОЗОК: ВЫГОДЫ И ПРОБЛЕМЫ

Дирко С.В. – к.э.н., доцент, УО «Белорусский государственный экономический университет»

Скорогод Е.В. – студент, УО «Белорусский государственный экономический университет»

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы транспортировки грузов в смарт-контейнерах, оснащенных средствами приемки и передачи данных в режиме реального времени. Определены выгоды и существующие проблемы в цифровизации контейнерных грузоперевозок. Изучен зарубежный опыт реализации проектов по разработке глобальных стандартов для обмена данными о состоянии груза и логистической экосистемы, открытой для всех участников отрасли морских контейнерных грузоперевозок.

Во второй половине XX в. объем грузов, перевозимых в контейнерах, рос в геометрической прогрессии. В настоящее время около 90% генеральных грузов, перевозимых морем во всем мире, перемещается в стандартных контейнерах с использованием всех видов транспорта: морского, внутреннего водного, железнодорожного или автомобильного. Концепции контейнеризации и мультимодальных перевозок оказали огромное влияние на обеспечение глобального экономического роста за счет преобразований и революционных изменений в логистике и управлении цепями поставок.

Контейнерные грузоперевозки стали основой развития международной торговли и продолжают играть ведущую роль. Между тем, непрерывный технологический прогресс позволил индустрии контейнерных перевозок постепенно продвигаться к цифровой трансформации и начать использовать

преимущества новых цифровых возможностей. В течение последнего десятилетия были запущены различные крупномасштабные цифровые проекты для обеспечения сквозной видимости и мониторинга контейнеров, а также предоставления инструментов поддержки принятия решений участникам международных цепей поставок.

В результате этой общеотраслевой стратегии цифровизации традиционные грузовые контейнеры все чаще оснащаются устройствами отслеживания и мониторинга, устройствами безопасности и другими датчиками, поддерживающими технологию Интернета вещей (IoT). Следует отметить, что такие смарт-контейнеры уже достаточно широко используются для перевозки грузов. Они составляют около 2,5% мирового флота, или примерно 600 тысяч. По прогнозам экспертов к 2023 г. их количество увеличится до 2 млн, что составит примерно 6,5% мирового флота¹.

С технической точки зрения датчики смарт-контейнера представляют собой электронные высокотехнологичные устройства (чипы), предназначенные для генерирования данных и уведомлений о перемещении и состоянии груза в любой момент времени. Основное их назначение – это передача всем заинтересованным сторонам перевозочного процесса (грузоотправителям, грузополучателям, транспортным компаниям) данных в режиме реального времени, позволяющих, во-первых, проводить идентификацию груза; во-вторых, определять его местонахождение; в-третьих, мониторить физические параметры, такие как температура, влажность, вибрация и т. д. Данные, получаемые от смарт-контейнеров, могут включать и более подробные сведения, такие как ожидаемое время прибытия контейнера; общее время в пути; подтверждение поступления разгруженного контейнера на склад; отслеживание перевозки и др.

Преимущества цифровизации контейнерных грузоперевозок очевидны не только на микроуровне (обмен информацией и оптимизация внутри компаний), но также и на макроуровне (оптимизация всей цепи поставок, включающей как субъектов различных отраслевых сегментов и направлений бизнеса, так и государственные структуры). К основным выгодам от использования смарт-контейнеров можно отнести:

¹ Умный контейнер, умный порт, BIM, Интернет Вещей и блокчейн в цифровой системе мировой торговли / Ю.В. Куприяновская, В.П. Куприяновский и др. // International Journal of Open Information Technologies. Vol. 6. № 3. 2018. P. 49-94.

- 1) непрерывную видимость «от двери до двери» в общемировом масштабе;
- 2) автоматический сбор данных, что исключает ошибки и повышает устойчивость к мошенничеству;
- 3) простоту сбора и последующей интеграции информации, которую в противном случае было бы слишком дорого или даже невозможно получить;
- 4) наличие данных в режиме реального времени, что означает соответствие реальности отраженного в системе местоположения и состояния контейнера.

Судоходные линии и другие заинтересованные стороны получают доступ к данным контейнера, поступающим из электронного устройства, независимо от того, находится ли контейнер на судне, на верфи или в любой другой точке в течение периода, предшествующего перевозке, и после ее окончания. Получая данные о перевозимом грузе в режиме реального времени, логистические компании могут точно определить, когда, где и почему происходят сбои и задержки. Опираясь на эту дополнительную видимость, они могут оптимизировать свой процесс принятия решений, делиться важными обновлениями с другими участниками перевозочного процесса и предлагать улучшенный сервис своим клиентам.

Особой значимостью применение смарт-контейнеров характеризуется для организации перевозки товаров, чувствительных к теплу, таких как медицинские препараты и продукты питания, поскольку они требуют обеспечения особых условий хранения. При транспортировке вакцин необходимо поддерживать определённую температуру на всём пути: от изготовления до медицинского центра. Зачастую колебание температур во время перемещения может достигать 40% от необходимого значения, что отрицательно сказывается на лечебных свойствах препарата. В результате нарушения температурного режима при перевозке, ежегодно уничтожаются медикаменты на сумму \$2,5 млрд долларов, потому как такие товары нельзя больше использовать². Не менее актуален вопрос обеспечения соответствующего температурного режима и при транспортировке продуктов питания.

² Обзор логистической блокчейн-платформы Smart Containers ICO [Электронный ресурс]. URL: https://miningbitcoinguide.com/ico/smart-containers#_Smart_Containers-2 (Дата обращения: 10.01.2021).

Однако широкому распространению смарт-контейнеров препятствует отсутствие единых глобальных стандартов для сбора и передачи массива данных, которые они генерируют. С развитием новых и появляющихся технологий стандарты как никогда необходимы для обеспечения функциональной совместимости, обеспечения возможности участия всех сторон в процессе, обеспечения некоторой нейтральности в процессе принятия решений и обеспечения международного признания технологий.

По мнению экспертов Центра ООН по упрощению процедур торговли и электронным деловым операциям (UN/CEFACT), данные, генерируемые смарт-контейнерами, должны контролироваться и управляться нейтральными поставщиками услуг смарт-контейнеров, которые коммерциализируют устройства и связанные с ними технологии передачи данных³. Эти поставщики услуг должны иметь контроль над получаемыми данными и информационной платформой для их хранения, а управление должно быть реализовано безопасным способом с учетом конкурентных интересов всех сторон. При этом доступ к данным должны иметь все участники перевозочного процесса в соответствии с заключенным договором перевозки, а также контрактом между ними и поставщиком услуг смарт-контейнеров.

Нужно отметить, что создание экосистемы для смарт-контейнеров имеет высокую важность для развития мировой торговли. Подтверждением этого служит тот факт, что экспертами UN/CEFACT в 2017 г. подобные проекты были объявлены как имеющие приоритетную значимость. В этом контексте можно отметить несколько инициатив, активно реализуемых представителями разных стран.

Первый проект – «Smart Containers BRS», реализуемый с октября 2017 г. компанией Traxens. Эта компания активно сотрудничает с такими логистическими гигантами, как Maersk, CMA CGM, MSC, и к настоящему времени уже установила трекеры и датчики на десятки тысяч грузовых контейнеров. Данный проект нацелен на обеспечение четких глобальных стандартов для обмена данными для обеспечения совместимости и легкой интеграции в рамках различных систем. Идея заключается в том, что цифровая запись, предоставляемая смарт-контейнерами, будет мгновенно и максимально

³ Smart Containers: Real-time Smart Container data for supply chain excellence / UN/CEFACT [Электронный ресурс]. URL: https://unece.org/fileadmin/DAM/cefact/GuidanceMaterials/WhitePapers/WP-SmartContainers_Eng.pdf (Дата обращения: 15.01.2021).

точно отражать непосредственную физическую ситуацию с перевозимым грузом, улучшая видимость и автоматизацию по всей цепочке поставок⁴. Данные будут генерироваться один раз и совместно использоваться несколькими заинтересованными сторонами, платформами и системами. Помимо грузоотправителей и других заинтересованных сторон к детализированной информации имеют доступ также контролирующие органы до начала выполнения пограничной проверки.

Другой проект, заслуживающий внимания – это «Smart Containers», реализуемый с 2016 г. швейцарской компанией Smart Containers Group. Данная компания специализируется на аренде безопасных грузовых контейнеров с системой контроля температуры и на сегодняшний день располагает самым большим количеством IoT-контейнеров (Internet of Things) для авиаперевозок.

В основе проекта «Smart Containers» лежит децентрализованная логистическая экосистема, открытая для всех участников перевозочного процесса и других заинтересованных сторон на основе технологии blockchain. Новая система получила название Logi Chain. Принцип работы Logi Chain состоит в следующем. Каждая логистическая единица (контейнер, посылка и т. д.) зеркально отображается в блочной цепочке как виртуальный чип. Стоимость виртуального чипа очень мала и не будет отражаться на стоимости услуг. Участники сделки могут «привязать» к виртуальному чипу все необходимые документы и сделать их доступными для определенного круга лиц (например, экспедиторов, подрядчиков, таможенной службы, грузоотправителей, складских работников и т. д.). Документы хранятся либо в публичной блок-цепочке (например, на основе сети Ethereum), либо в другой блок-цепи, такой как Fabric или Corda. Все зависит от уровня конфиденциальности и круга лиц, имеющих доступ к информации о грузе. Все данные являются доступными в режиме реального времени, что позволяет сторонам действовать максимально оперативно в случае возникновения проблем и сбоев в цепочке поставок.

В заключение нужно отметить, что дальнейшее техническое совершенствование смарт-контейнеров, внедрение единых глобальных стандартов передачи массивов данных, генерируемых располагаемыми на них

⁴Traxens: Logistics Excellence [Электронный ресурс]. URL: https://www.cma-cgm.com/static/eCommerce/Attachments/CMA%20CGM%20Traxens%206pages%20Brochure%202019_English_.pdf. (Дата обращения: 15.01.2021).

датчиками, по-прежнему сохраняют свою актуальность в постоянно изменяющейся цифровой среде ведения международной торговли и представляют большой интерес для мирового экономического сообщества. Как показывают многие исследования, эффективная торговая логистика является важнейшей предпосылкой развития международной торговли наряду с упрощением процедур торговли. С этой точки зрения цифровизация контейнерных грузоперевозок является стратегическим фактором, способствующим повышению эффективности логистической отрасли, а следовательно, может рассматриваться как условие для обеспечения устойчивого роста международной торговли.

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ ШЛЮЗОВ И ПУТИ ИХ РЕШЕНИЯ

Захаров Г.И. – студент, Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»

Чабанова Е.В. – к.п.н., доцент, Пермский филиал ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»

Научный руководитель: Скорюпина Л.С. – ст. преподаватель Пермского филиала ФГБОУ ВО «Волжский государственный университет водного транспорта»,

Аннотация

Целью статьи является – разработка предложений, направленных на увеличение пропускной способности и надежности шлюзов. Объектом исследования является – Пермский район гидротехнических сооружений и судоходства (Пермский шлюз). Проведено исследование гидротехнических сооружений, а также анализ основных проблем эксплуатации гидросооружений. Предложены рекомендации по увеличению пропускной способности шлюза.

К гидротехническим сооружениям (далее – ГС) относят:

- плотины;
- здания гидроэлектростанции;
- сооружения водосброса, водоспуска и водовыпуска;
- туннель, канал, насосная станция, судоходный шлюз, сооружение, предназначенное для защиты от наводнений, разрушений берегов и дна водохранилища, реки;
- сооружение (дамбу), ограждающую хранилище жидких отходов промышленных и сельскохозяйственных организаций;
- устройства от размывов каналов, а также другие сооружения, предназначенные для использования водных ресурсов и предотвращения негативного воздействия на окружающую природу.

ГС имеют большое народнохозяйственное значение, они подразделяются на следующие классы:

- 1 класс – ГС чрезвычайно высокой опасности;
- 2 класс – ГС высокой опасности;
- 3 класс – ГС средней опасности;

4 класс – ГС низкой опасности.

Гидротехнические сооружения различаются по назначению и строятся в разных природных условиях (табл. 1)¹.

Табл. 1

Классификация гидротехнических сооружений

№ п/п	Признак	Характеристика признака
1.	Обслуживаемая отрасль народного хозяйства	- мелиоративные (водозаборы, каналы и пр.); - гидроэнергетические (напорные бассейны и др.); - воднотранспортные (судоходные шлюзы и каналы, волноломы и др.); - водопроводные и канализационные (водозаборы и др.); - рыбохозяйственные
2.	Целевое назначение и характер выполняемых функций	- водоподпорные (плотины, дамбы и др.); - регулировочные (запруды и др.); - водозаборные; - водопроводящие; - водосбросные
3.	Условия использования	- постоянные; - временные

На рисунке 1 изображена схема ФБУ «Администрация Камского бассейна внутренних водных путей» филиал «Пермский район гидротехнических сооружений и судоходства» (далее - ПРГСС) (рис. 1)².

¹Анализ работы гидротехнических сооружений / А.О. Леонтьев, Е.В. Чабанова, Л.С. Скорюпина // 21-й Международный научно-промышленный форум «Великие реки'2019». [Текст]: [труды конгресса]. В 3 т. Т. 2 / Нижегород гос. архит.-строит. ун-т; отв. ред. А. А. Лапшин. Н. Новгород: ННГАСУ, 2019. 366 с.

²Положение Пермского района гидротехнических сооружений и судоходства – филиал ФБУ «Администрация Камского бассейна внутренних водных путей» г. Пермь, 2013. 12 с.

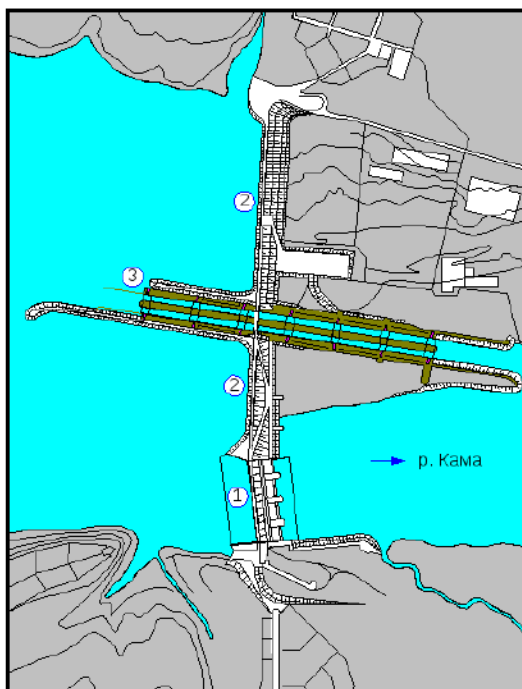


Рис. 1. Схема ПРГСС

ПРГСС включает в себя³:

- шестикамерный двухниточный электрифицированный шлюз с железобетонными головными сооружениями, стенами камер из металлического шпунта;
- здание центрального поста управления;
- причальные палы верхнего и нижнего подходных каналов;
- две земляные безнапорные дамбы с бетонным покрытием, служат ограждением верхнего подходного канала;
- земляная безнапорная дамба, ограждающая нижний подходной канал, с покрытием откосов каменным мощением и частично с бетонным покрытием;
- два маяка, расположенные на оголовках верховой и низовой дамб;
- железнодорожное хозяйство с тяговой подстанцией, контактной сетью, железнодорожными путями протяженностью 16,02 км, 6-ю электровозами и ангаром для зимнего отстоя электровозов;
- хранилище для ремонтных ворот с 3-мя зданиями механизмов;
- инспекторские дороги площадью 37 тыс. м²;

³Устав Федерального бюджетного учреждения «Администрация Камского бассейна внутренних водных путей», г. Пермь. 2013. 22 с.

– здание управления гидрорайона с механическими мастерскими и электродепо, гараж, столярное помещение, складское помещение, колерная, вспомогательные здания.

Основным видом деятельности ПРГСС является обеспечение шлюзования – перехода судов из одного водного бассейна в другой с различными уровнями воды в них.

Шлюзование производится в навигационный период. Также Пермский шлюз может осуществлять шлюзование в ненавигационный период⁴.

Пермский шлюз расположен в пойменной части левого берега реки Кама. С правой стороны шлюз сопрягается с русловой земляной плотиной. С левой стороны от шлюза (по течению реки) находится пойменная земляная плотина, которая простирается до повышенных отметок коренного берега реки.

Шлюз Пермского гидроузла состоит из двух параллельно расположенных каналов или ниток – западной и восточной (рис. 2).



Рис. 2. Шлюз Пермского гидроузла

В каждой нитке находится шесть камер, которые расположены одна за другой и образуют «водную лестницу».

Наличие двух ниток изначально позволяло одновременно производить шлюзование вверх и вниз в двух направлениях.

⁴Речные информационные системы // Транспорт: проблемы, цели, перспективы (ТРАНСПОРТ2020) Материалы всероссийской научно-технической конференции (Пермь, 15 февраля 2020 г.) / под ред. канд. пед. наук., доц. Е.В. Чабановой. Пермь: Пермский филиал ФГБОУ ВО «ВГУВТ», 2020. С. 28-32.

Полезная длина каждой камеры – 239,7 м, ширина – 29,82 м. Средняя продолжительность пропуска судов и составов, с учетом времени захода и выхода из камер шлюза, составляет 144 минуты.

Управление воротами камер производится с центрального пульта, расположенного на отдельной стенке шлюза между третьей и четвертой его головами. Шпиль ЦПУ, как, впрочем, и всё Пермское гидросооружение, признан памятником промышленной архитектуры второй половины XX в. Он высится над Камским фарватером на 70 м и увенчан шпилем из нержавеющей стали с пятиугольной звездой венке на его конце. В ясную погоду при хорошей видимости пульт управления виден из многих точек Перми во всех направлениях – за десятки километров.

В состав крупных гидроузлов входят в том числе судоходные сооружения, которые обеспечивают работу грузовых и пассажирских судов. Для предотвращения критических аварийных ситуаций на предприятии производится ежегодный углубленный анализ и наблюдение за техническим состоянием всех элементов гидроузла.

Анализируя причины аварий можно назвать основные:

- гидравлический удар;
- подвижку земной коры;
- разрушение шпилек, удерживающих крышку второго гидроагрегата;
- срыв одной из лопаток направляющего аппарата;
- несрабатывание автоматической системы защиты и др.

Высокая аварийность на российских ГС является системной проблемой.

Например, 4 ноября 1994 г. произошла серьезная авария на правой нитке Пермского шлюза. В процессе шлюзования грузового состава, состоящего из буксира-толкача и двух барж, произошло открытие нижних ворот верхней камеры. Впоследствии были снесены все последующие ворота.

Приведем основные производственные показатели шлюзов Камского водного бассейна 2020 г. Продолжительность навигации – 211 суток, количество шлюзований 7030 (106% к 2019 г.), пропущено 16084 судов (109% к 2019 г.), в том числе 15 плотов, 15149,5 тыс. тонн грузов (101% к 2019 г.), 45999 пассажиров (48% к 2019 г.).

Учитывая описанные ранее и многие другие проблемы водного транспорта, была разработана подпрограмма «Внутренний водный транспорт» в

рамках федеральной целевой программы «Развитие транспортной системы России до 2030 года». Пути решения проблем сформулированы и просчитаны в указанной подпрограмме.

Разрешение задач, обеспечения надежности объектов транспортной инфраструктуры и безопасности судоходства на внутренних водных путях (далее – ВВП) предполагает внедрение комплекса следующих мероприятий:

- обеспечение безопасности гидротехнических сооружений благодаря повышению уровня их технического состояния;
- обновление обслуживающего флота и развитие сети технологической связи на ВВП;
- приобретение программно-аппаратных средств для обеспечения предоставления навигационной информации;
- повышение уровня антитеррористической защищенности объектов;
- строительство и реконструкция объектов научно-образовательных комплексов на базе отраслевых высших образовательных учреждений.

Кроме того, в подпрограмму развития «Внутреннего водного транспорта» были включены мероприятия по комплексной реконструкции судоходных гидротехнических сооружений, которые имеют предельный износ конструктивных элементов, требующих полной замены с изменением технических параметров, которые повышают эксплуатационные показатели работы.

На основании вышеизложенного, для увеличения пропускной способности шлюзов проводят следующие мероприятия⁵:

- для Городецкого шлюза – реконструкция электрооборудования механизма приводов нижних двухстворчатых ворот и проведена модернизация гидросистем верхних рабочих ворот шлюзов, что снизит шанс простоя шлюза по причине поломок, а также увеличит скорость работы сооружения;
- для Пермского шлюза – реконструкцию механического оборудования рабочих ворот, т. к. это позволит снизить вынужденные простои шлюза по причине поломок, а также увеличит эффективность работы оборудования.

В ходе выполнения работы поставленная цель «исследование возможности

⁵Статья « О безопасности гидротехнических сооружений», доктор технических наук Кривошей В.А. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.vil21.ru/1259056198.php>

повышения пропускной способности шлюзов» была достигнута, путем решения поставленных задач. Был проведен анализ технического и эксплуатационного состояния гидротехнических сооружений, выявлены проблемные места и слабые стороны различных шлюзов России.

В ходе проведения анализа была описана общая характеристика шлюзов, описано устройство гидротехнического сооружения на примере ПРГСС. Таким образом, проведя анализ состояния шлюзов, нами были обнаружены следующие проблемы:

- большой износ механического оборудования, влекущий нарушения в работе гидроузла;
- устаревание механического оборудования шлюза;
- недостатки, допущенные на этапе проектирования и строительства и др.

УПРАВЛЕНИЕ ТЯГОВЫМИ МОБИЛЬНЫМИ РОБОТАМИ

Ким В. – студент, ФГАО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Барский И.В. – студент, ФГАО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Чуйков А.С. – студент, ФГАО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: Шабанов Д.В. – ассистент, ФГАО ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация

В статье проведена оценка быстродействия системы управления, обеспечивающей желаемую тяговую силу мобильного робота. Результаты позволяют оценить рассогласование положения роботов при групповом перемещении груза. Также описан процесс моделирования колесных роботов в среде Simulink и системы управления. Установлены основные преимущества предлагаемой системы в сравнении с системами управления, основанными на соблюдении референсного положения или референсной скорости.

Введение. Роботы интегрируются в производство повсеместно, в общем случае выделяют два основных класса роботов: стационарные и мобильные. В данной статье рассматриваются мобильные колесные роботы, которые используются во многих отраслях промышленности. Задача движения робота¹ на производстве подразумевает, что робот будет двигаться только по плоской поверхности, места расположения препятствий (таких как станки, оборудование и другие роботы) заведомо известны. Более того, в любой точке производства имеется беспроводная связь с центральной системой управления.

Использование мобильных роботов целесообразно только при желании увеличить гибкость транспортной системы, а как следствие – гибкость производства. На гибкость транспортной системы влияет ограничение грузоподъемности робота. Для еще большего увеличения гибкости транспортной системы внедряется большая разновидность роботов, либо возможно использование нескольких однотипных тяговых роботов для перемещения одного большого груза, что позволит не допускать простоя незадействованного типа роботов.

¹ Павельчук К.Е., Шабанов Д.В., Федотов А.М. Автоматизация движения мобильного колёсного робота по криволинейной траектории. 2015. С. 52-53

Объект исследования. На международной научно-практической конференции «Информационные технологии и интеллектуальные системы принятия решений» (ITIDMS 2021) был предложен вариант взаимодействия роботов и платформы с грузом. Результат их объединения называется транспортной ячейкой переменной конфигурации (ТЯПК). Кинематическая схема транспортной ячейки приведена на рисунке 1.

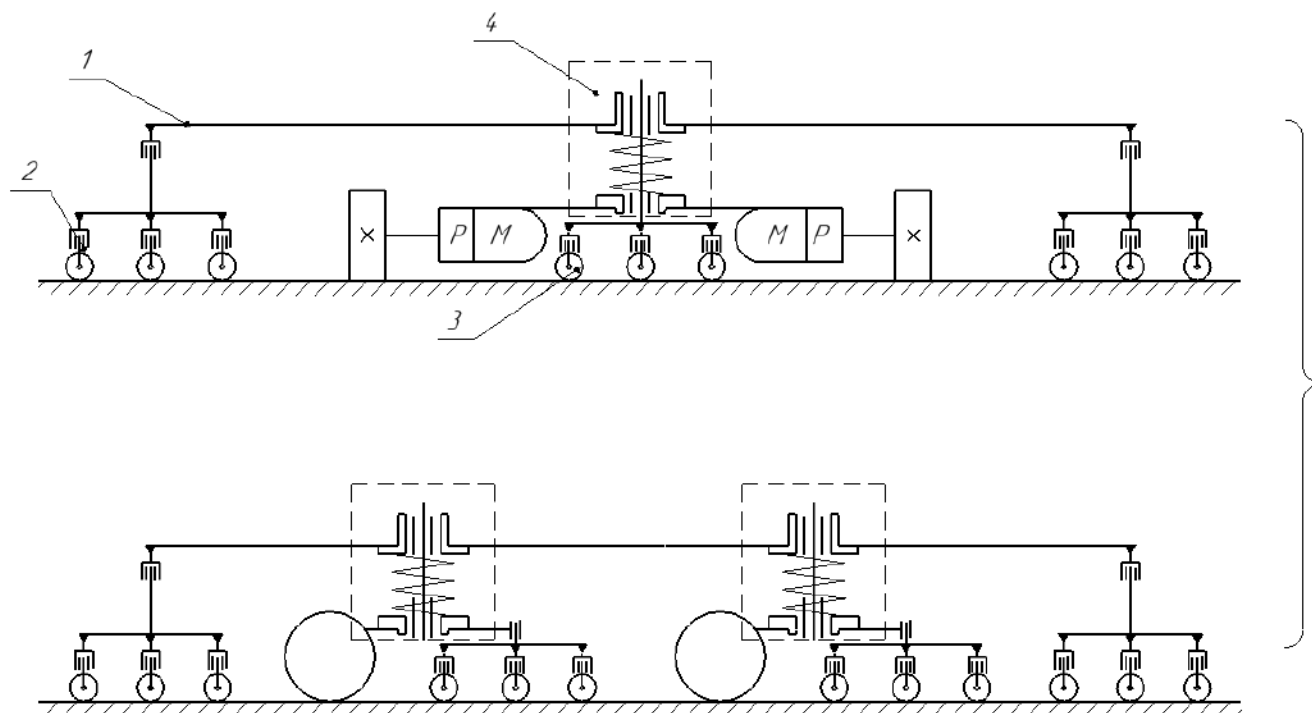


Рис. 1. Кинематическая схема

Транспортная ячейка содержит платформу (1), которая несет на себе различный груз. Платформа опирается на револьверные опоры (2). Основное движение ячейке придают роботы (3), снабженные поджимными устройствами (4), которые равномерно распределяют нагрузку и обеспечивают хорошее сцепление колес робота с полом. Сами роботы снабжены двумя мотор-редукторами и соосно расположенными приводными колесами. Поворот осуществляется разностью скоростей колес, что говорит о том, что робот относится к разновидности «differential drive». Механизм сцепки находится перпендикулярно оси колес, поэтому робот может поворачиваться, не перемещая груз. Для самостоятельного перемещения роботы снабжены не только двумя мотор-редукторами, но и опорами (4).

В отличие от подобных модульных систем², ТЯПК имеет переменную конфигурацию, т. к. количество роботов и места их стыковки определяются массой груза и характером траектории для каждой конкретной транспортной задачи. Гибкость промышленной транспортной системы обеспечивается универсальностью роботов: одни и те же роботы перемещают грузы любых габаритов и массы. Кроме того, появляется возможность перемещения грузов по сложным траекториям.

Система управления транспортной ячейкой реализована в ведущем роботе и определяет желаемое значение угловых положений всех роботов этой транспортной ячейки и тяговые силы, которые эти роботы должны обеспечить. Таким образом, задача системы управления мобильного робота сводится к соблюдению заданного (референсного) вектора тяговой силы.

На рисунке 2 изображена математическая модель объекта управления, то есть цехового колесного робота. Скорость линейного перемещения робота в данной статье не рассматривается, так как ее возможно определить при рассмотрении всей транспортной ячейки (в том числе платформы и остальных роботов). В связи с этим, мы принимаем, что направление вращения обоих двигателей совпадает с направлением действия момента. Это позволяет упростить расчет момента сопротивления качению. В рамках данной симуляции в среде Simulink учитываются инерционность робота и роторов двигателей.

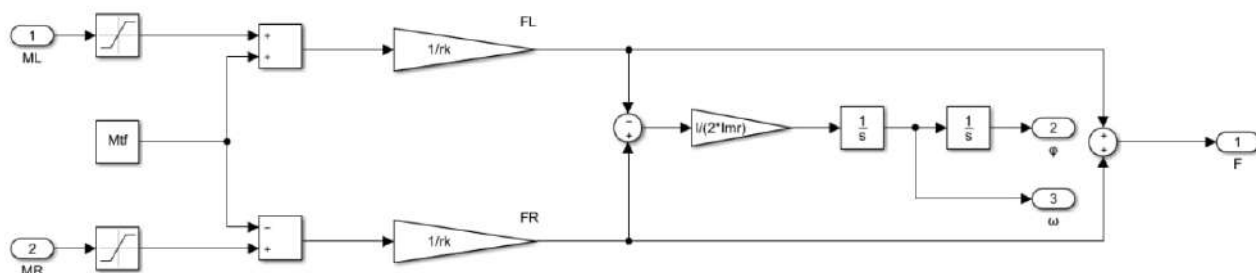


Рис. 2. Объект управления

Система управления. Система управления решает только задачу нижнего уровня управления (рис. 3). Верхний уровень управления реализуется централизованной интеллектуальной системой производства (определение точек стыковки и отстыковки, создание транспортных задач, формирование

² Дёмин В.В., Кабыш А.С., Головкин В.А., Stetter R. Эффективное управление производственным мобильным роботом на основе подкрепляющего обучения. 2013. С. 18-22.

траектории, распределение задач). Выбранные централизованной системой роботы едут до производственной платформы, стыкуются с ней, образуя транспортную ячейку, определяется робот-лидер, координирующий движения остальных роботов, и перемещают груз по заданной траектории, огибая препятствия. После перемещения груза роботы отстыковываются и выполняют следующие назначенные им задачи.

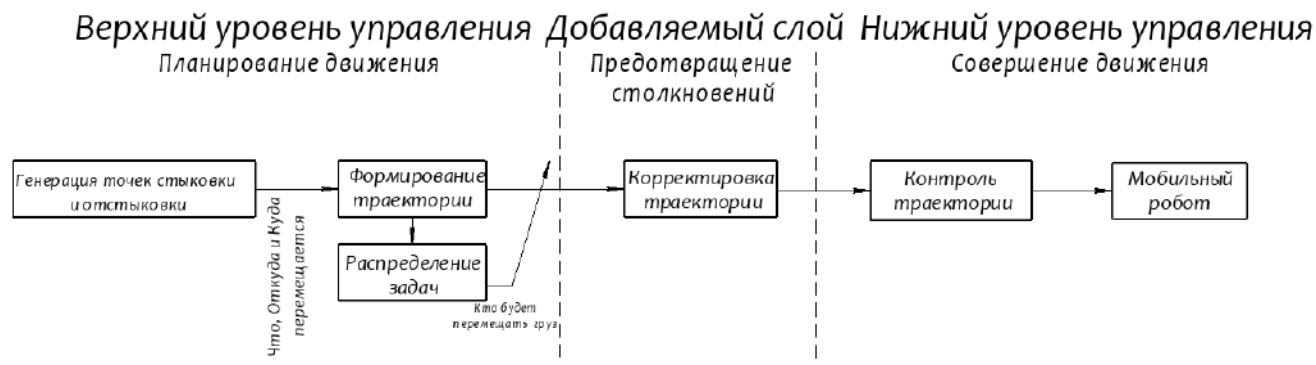


Рис. 3. Иерархия транспортной системы производства

Классические системы управления с обратной связью мобильных роботов основаны на контроле референсного положения или референсной скорости. ПИД-регулятор пытается устранить вычисленное отклонение (ошибку). Предлагается использовать регулятор по усилию, т. к. регуляторы по положению и скорости³ имеют ряд недостатков.

А. В регуляторе с обратной связью по положению критическим недостатком является погрешность изготовления стола и погрешности датчиков обратной связи. В случае отклонения места стыковки от ожидаемого, робот начнет создавать тяговое усилие в противоположную сторону от необходимой, а остальные будут преодолевать создаваемое им усилие.

Б. В регуляторе с обратной связью по скорости распределение усилий между роботами неконтролируемое и окажется, что на одном из них нагрузка сильно больше, чем на остальных. Из-за этого при повороте или резком ускорении может возникнуть проскальзывание колес, что сильно влияет на управляемость. Стоит учесть, что разность в тяговых усилиях может сказаться на энергопотреблении роботов.

³ Шабанов Д.В., Павельчук К.Е., Федотов А.М. Оценка качества работы регуляторов двухприводного мобильного робота с лазерной навигацией. Задача движения в точку. 2015. С. 3-6.

В связи с этим, принято решение сделать регулятор по усилию и угловому положению. Контроль углового положения реализуется по аналогии с системой позиционирования серводвигателей⁴. Различия подходов отражены на рисунке 4. Регулятор момента и ШИМ-модулятор добавлены исключительно для наглядности. Предполагается что частотный преобразователь способен идеально соблюдать заданные величины моментов.

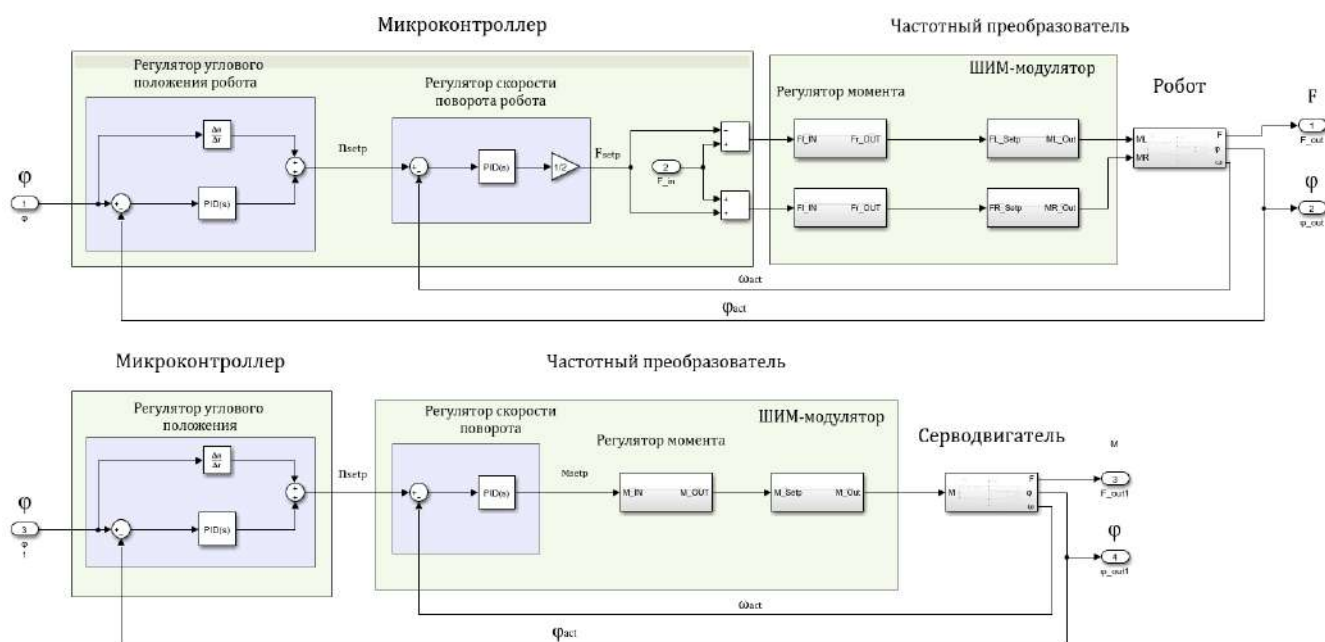


Рис. 4. Системы управления робота и серводвигателя

Управляющим воздействием являются моменты на левом и правом колесах. Управление движением устройства осуществляется за счет двух ПИД-регуляторов, отвечающих за скорость вращения и угловое положение робота. Сигнал на выходе 1 является актуальной величиной тяги робота, сигнал на выходе 2 – угловая скорость робота, которая поступает в регулятор частоты вращения, и на выходе 3 – угловое положение робота, которое идет на регулятор положения.

Результаты. Предложенная система построена в среде Simulink. Настройку регуляторов предлагается выполнить двумя способами – ручная настройка и автоматическая⁵. Выбирается лучший набор коэффициентов для дальнейшего использования. Сначала настраивается контур контроля угловой

⁴ Сервопривод // Докл. науч.-метод. семинара. М.: Издательство МЭИ, 2013. 88 с.

⁵ Борисевич А.В., Полищук М.Н. Теория автоматического управления. Практикум. Учебное пособие. С. 72-81. Изд-во Политехнического университета, 2013. 125 с. URL: <http://elibr.spbstu.ru/dl/2/3243.pdf>

скорости робота, затем процедура повторяется для регулятора углового положения. Для оценки качества настройки будем оперировать такими показателями как: время переходного процесса и установившаяся ошибка. Разность между желаемым φ^* и установившемся φ значением на выходе называется установившейся ошибкой δ . Время τ , необходимое выходному сигналу системы для того, чтобы приблизиться к своему установившемуся значению называется время переходного процесса. Обычно пределы такого приближения составляет 1-10% от конечного значения⁶.

Рассмотрим вариант системы управления при автоматической настройке и ручной. Для автоматической настройки необходимо добавить дополнительные модули: «Step Response», «Check Step Response Characteristics». Далее нужно задать необходимые требования, чтобы программа начала подбирать нужные коэффициенты трех составляющих ПИД-регулятора: пропорциональная – k_p , интегральная – k_i и дифференциальная – k_d .

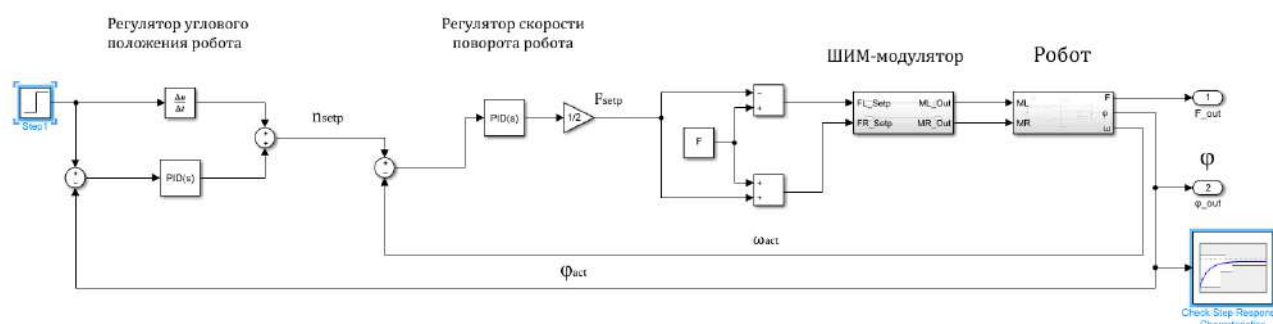


Рис. 5. Система управления с модулями автоматической настройки

Задав необходимую нам точность и шаговое воздействие, финальное значение которого равно единице, получаем соответствующую требованиям амплитуду угла относительно времени на рисунке 6. Коэффициенты для контура скорости: $k_p = 3745$, $k_d = 317$, $k_i = 0$. Коэффициенты для контура углового положения: $k_p = 582$, $k_d = 0$, $k_i = 0$.

Так как нас устраивает погрешность установившейся ошибки в 5%, проанализировав график можно установить, что время переходного процесса $\tau \approx 0.4$ с.

⁶ Борисевич А.В. Теория автоматического управления: элементарное введение с применением MATLAB. Методическое пособие. С. 12-17. Изд-во Политехн. ун-та, СПб, 2011. 200 с.

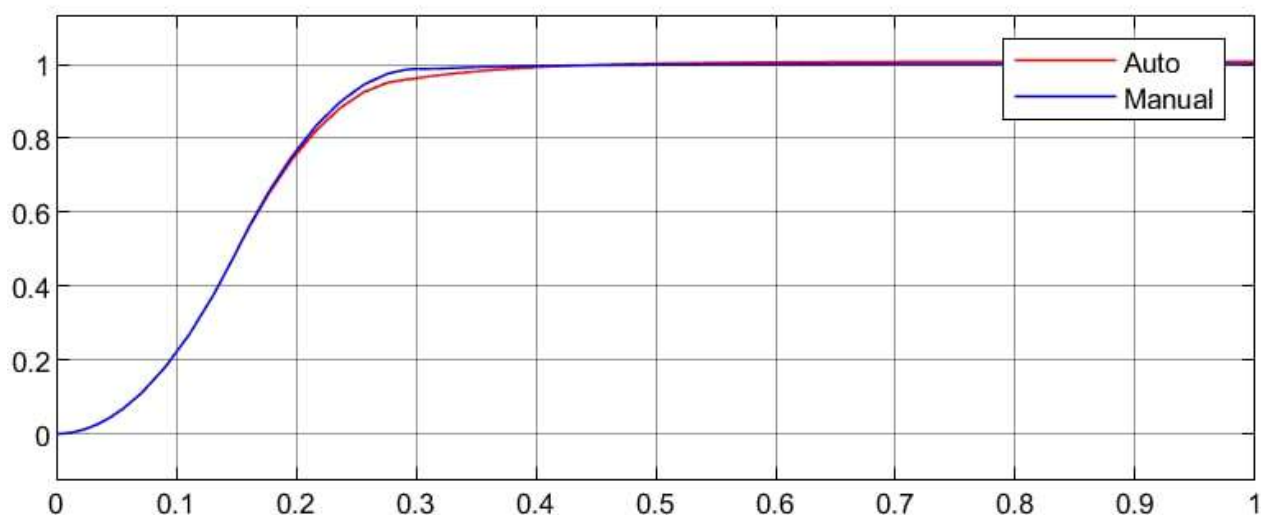


Рис. 6. Зависимость угла поворота от времени при автоматической и ручной настройке

Ручная настройка происходит с помощью следующей стратегии. Сначала обнуляются все коэффициенты, затем эмпирическим методом, увеличивая в десять раз составляющие регулятора, ведется поиск интервала подходящих коэффициентов.

После непродолжительного поиска получаем следующие коэффициенты для контура скорости: $k_p = 150$, $k_d = 0.01$, $k_i = 0$. Коэффициенты для контура угла: $k_p = 25$, $k_d = 0$, $k_i = 1$.

Проанализировав график амплитуды угла поворота при ручной настройке, можно установить, что время переходного процесса $\tau \approx 0.31$ с.

Заключение. На основании предложенной кинематической схемы и структуры системы управления транспортной ячейки, построена математическая модель мобильного колесного робота. Также рассмотрены недостатки систем управления, основывающихся на соблюдении референсного положения или референсной скорости, следовательно, решено разработать регулятор на основе референсного вектора тяги, модель которого была также разработана в среде Simulink. Модель регулятора основывается на 2 контурах с обратной связью (контур контроля углового положения и контур контроля скорости). ПИД-регуляторы настроены двумя способами. На основании графиков автоматической и ручной настройки, можно сделать вывод, что автоматическая настройка не всегда оптимально подбирает коэффициенты. Выбор был принят в

ходе анализа показателей качественных характеристик системы управления (время переходного процесса и установившаяся ошибка).

По полученному времени реакции системы можно будет оценить качество движения всей транспортной ячейки по заданной траектории.

СИЛЫ СОПРОТИВЛЕНИЯ, ВОЗНИКАЮЩИЕ ПРИ ДВИЖЕНИИ МОБИЛЬНОЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПЛАТФОРМЫ НА ВОЗДУШНОЙ ПОДУШКЕ

Козлович А.В. – аспирант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: Волков А.Н. – д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация

Статья посвящена исследованию мобильной транспортной платформы на воздушной подушке. Описан общий принцип формирования воздушной подушки. Рассмотрен процесс движения мобильной транспортной платформы на воздушной подушке по криволинейной траектории (по радиусу). Определены силы сопротивления, возникающие из-за трения уплотнения воздушной подушки о плоскость пола, а также построены зависимости данных сил от радиуса траектории.

Практически в любой области современной промышленности человечество сталкивается с проблемой транспортировки тяжелых объектов. Причем речь может идти как собственно о перевозке груза, так и о выполнении сборочных операций, когда одна крупногабаритная деталь тем или иным способом соединяется с другой. Для решения сборочных задач обычно используются цеховые краны, однако при их использовании возникают сложности с условно точными манипуляциями.

Альтернативным решением подобных задач является применение мобильных транспортных платформ на воздушной подушке. Транспортные платформы позволяют решить вопрос о перемещении грузов внутри цеха или предприятия. А благодаря воздушной подушке, которая используется для компенсации части массы груза, такая система имеет ряд преимуществ перед обычным цеховым транспортом. Благодаря системе компенсации массы с помощью одной и той же платформы можно перемещать изделия, масса которых меняется в широком диапазоне. При этом нет необходимости использовать мощные приводы для перемещения системы, поскольку, как было сказано ранее, большая часть массы груза воспринимается воздушной подушкой.

Судно на воздушной подушке

Воздушная подушка изобретена в конце XVIII в. английским изобретателем Джоном Торникрофтом. Правда им была придумана сама

концепция, а физическое воплощение его идеи было представлено лишь спустя почти 35 лет – в 1915 г. австрийский инженер Дагоберт Мюллер фон Томамюль спустил на воду катер, оборудованной данной системой.

Принцип действия воздушной подушки (рис. 1) заключается в следующем. Под днищем транспортного средства создается полость, в которой тем или иным способом создается избыточное давление. Под действием этого давления происходит так называемое всплытие транспортного средства – состояние, при котором оно парит над поверхностью земли или воды. В результате отсутствует трение о поверхность, что позволяет существенно снизить силы сопротивления движению.

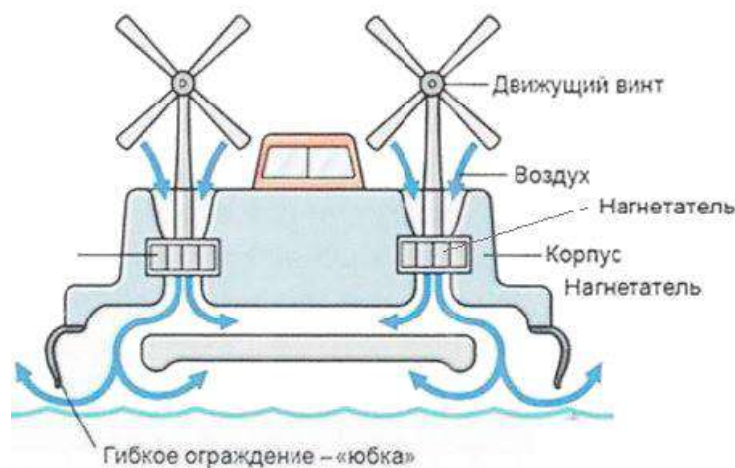


Рис. 1. Схема судна на воздушной подушке

Очевидно, что классическая схема воздушной подушки подразумевает существенный расход воздуха, который постоянно покидает полость под днищем транспортного средства. В определенной степени величину расхода позволяет снизить использование так называемой юбки – уплотнения, расположенного по периметру корпуса машины. В зависимости от типа этого уплотнения можно выделить следующие виды воздушной подушки:

- камерная;
- сопловая;
- скеговая;
- щелевая.

Однако все эти виды подразумевают наличие зазора между плоскостью земли и уплотнением, что приводит к значительным утечкам воздуха из

подушки. Следовательно, для поддержания необходимой величины избыточного давления необходимо затрачивать много энергии.

Стоит отметить, что наличие зазора обусловлено условиями эксплуатации и двигателем традиционных транспортных средств на воздушной подушке. Чаще всего их используют на сложной, пересеченной местности, на замерзших водоемах, болотах и т. д. А в качестве двигателя используется воздушный винт, толкающий судно в нужном направлении.

Мобильная транспортная платформа на воздушной подушке

Как было отмечено ранее, классические транспортные средства на воздушной подушке отличаются низкой энергоэффективностью. Для ее повышения необходимо снизить величину утечек воздуха из подушки. Для этого необходимо уменьшить величину зазора между плоскостью пола и уплотнением.

Поскольку речь идет о мобильной транспортной системе, работающей внутри цеха или иного промышленного помещения, можно предположить, что плоскость пола в нем будет ровной и гладкой. В этом случае можно полностью убрать зазор между ним и юбкой, прижав ее к полу. В результате, утечки воздуха из воздушной подушки станут возможны только через микронеровности и иные дефекты напольного покрытия. Кроме того, в отличие от традиционных судов на воздушной подушке, тут нет необходимости обеспечивать всплытие платформы – достаточно компенсировать часть массы перевозимого груза. Такая схема существенно повысит энергоэффективность подушки, т. к. на поддержание заданной величины избыточного давления придется затратить меньше энергии.

На рис. 2. представлена модель макета мобильной транспортной платформы на воздушной подушке¹.

¹ Павельчу К.Е., Шабанов Д.В., Постнов Р.В. Задачи механики мобильного робота на воздушной подушке // Автоматизация и приборостроение: проблемы, решения // Материалы Международной научно-технической конференции. Научный редактор В.Я. Копп. 2017. С. 51; Шабанов Д.В., Постнов Р.В., Павельчук К.Е., Ильиных И.В. Математическая модель мобильного робота с воздушной подушкой // Неделя науки СПбПУ: материалы научной конференции с международным участием. 2017. С. 71-74.

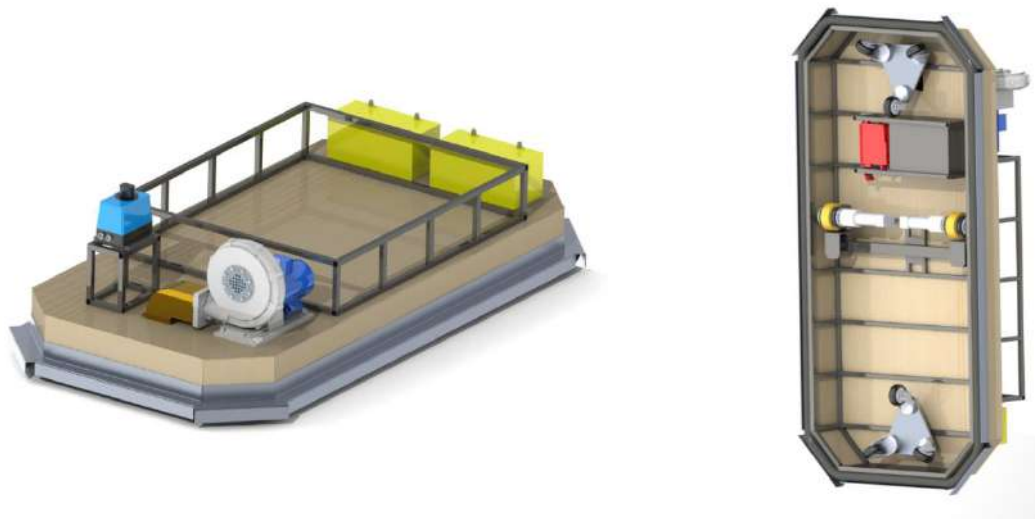


Рис. 2. Мобильная роботизированная платформа для перевозки грузов, оборудованная воздушной подушкой

Однако при описанной выше схеме в процессе движения транспортной системы уплотнение будет тереться о плоскость пола, в результате чего будут появляться силы трения, препятствующие движению системы. Оценим величину данных сил.

Силы трения в зоне контакта уплотнения и пола

Для упрощения дальнейших вычислений заменим реальную платформу, изображенную на рис. 2 на упрощенный вариант, имеющий в плане прямоугольную форму (рис. 3). Юбка уплотнения располагается по периметру платформы и прижата к полу с усилием q . Платформа имеет симметричную конструкцию, на горизонтальной оси симметрии располагаются два приводных колеса, а на вертикальной – два паразитных колеса (в качестве упрощения заменим револьверные опоры на одиночные всенаправленные опоры). В качестве допущения примем ширину юбки бесконечно малой и в дальнейших рассуждениях будем ей пренебрегать.

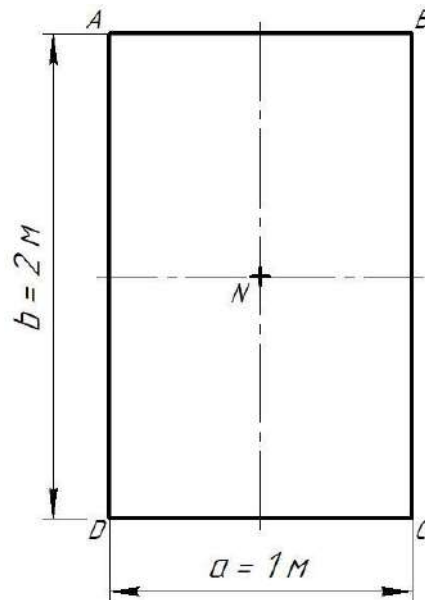


Рис. 3. Схема мобильной транспортной платформы на воздушной подушке

Пусть данная транспортная платформа перемещается по некой траектории. В процессе движения платформа ушла с заданной траектории. Для возврата на нее возможны несколько вариантов.

1. Платформа осуществляет разворот на месте до тех пор, пока не оказывается перпендикулярной к заданной траектории. Затем происходит движение к траектории и обратный разворот.

2. Платформа начинает движение по радиусу с тем, чтобы плавно вернуться на заданную траекторию.

В обоих случаях для возврата на траекторию платформе необходимо осуществить поворот вокруг центра вращения O . Определим силу и момент сопротивления, возникающие при этом вращении. Для упрощения вычислений рассмотрим каждую из граней платформы отдельно. Расчетные схемы для каждой из них представлены на рисунке 4.

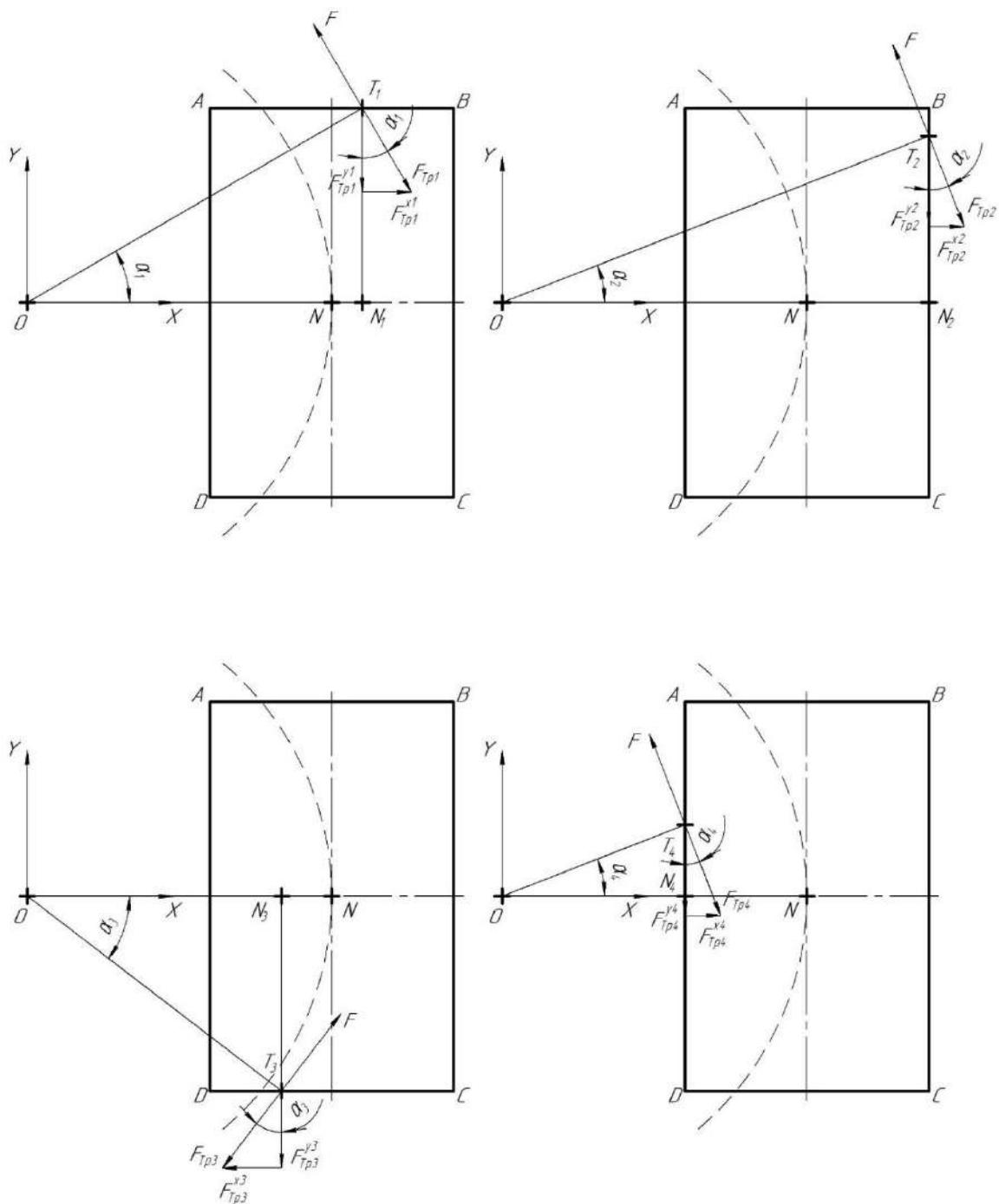


Рис. 4. Расчетная схема

Рассмотрим сторону АВ платформы (рис. 4). Для каждого из бесконечно малых элементов юбки можно определить силу сопротивления, возникающую при этом. Данная сила является силой трения скольжения, возникающей при перемещении юбки, прижатой к полу:

$$dF_{\text{ТР1}} = q \cdot f \, dx \quad (1)$$

Где $q = 500 \text{ Н}$ – это сила прижатия юбки к полу;

$f = 0,35$ – коэффициент трения скольжения.

При этом она направлена против направления движения и по касательной к траектории движения рассматриваемого элемента. Проекция данной силы на оси X и Y можно записать следующим образом:

$$dF_{TP1}^X = q \cdot f \cdot \sin\alpha_1 dx \quad (2)$$

$$dF_{TP1}^Y = q \cdot f \cdot \cos\alpha_1 dy \quad (3)$$

При этом $\sin\alpha_1$ и $\cos\alpha_1$ можно записать следующим образом:

$$\sin\alpha_1 = \frac{T_1 N_1}{\sqrt{T_1 N_1^2 + ON_1^2}} \quad (4)$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{ON_1}{\sqrt{T_1 N_1^2 + ON_1^2}} \quad (5)$$

Где $T_1 N_1 = 0.5 \cdot b$

$$ON_1 = ON + NN_1 = r + x$$

Тогда выражения (4) и (5) примут вид:

$$\sin\alpha_1 = \frac{0.5 \cdot b}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} \quad (6)$$

$$\cos\alpha_1 = \frac{r + x}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} \quad (7)$$

Подставим в выражения (2) и (3) выражения (6) и (7) соответственно и проинтегрируем полученный результат:

$$F_{TP1}^X = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \frac{0.5 \cdot b}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} dx \quad (8)$$

$$F_{TP1}^Y = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \frac{r + x}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} dx \quad (9)$$

Выражения (8) и (9) являются суммарной силой сопротивления, действующей на стороне АВ вдоль соответствующих осей. Произведя аналогичные рассуждения, составим выражения для суммарных сил сопротивления, действующих вдоль осей X и Y для сторон BC, CD и DA.

$$F_{TP2}^X = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \sin\alpha_2 dy = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + (r + 0.5 \cdot a)^2}} dy \quad (10)$$

$$F_{TP2}^Y = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \cos \alpha_2 dy = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \frac{r + 0.5 \cdot a}{\sqrt{y^2 + (r + 0.5 \cdot a)^2}} dy \quad (11)$$

$$F_{TP3}^X = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \sin \alpha_3 dx \quad (12)$$

$$= \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \frac{0.5 \cdot b}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} dx$$

$$F_{TP3}^Y = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \cos \alpha_3 dx \quad (13)$$

$$= \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \frac{r + x}{\sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2}} dx$$

$$F_{TP4}^X = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \sin \alpha_4 dy = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \frac{y}{\sqrt{y^2 + (r - 0.5 \cdot a)^2}} dy \quad (14)$$

$$F_{TP4}^Y = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \cos \alpha_4 dy = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \frac{r - 0.5 \cdot a}{\sqrt{y^2 + (r - 0.5 \cdot a)^2}} dy \quad (15)$$

Определим момент сил сопротивления относительно точки О начала координат, возникающий при движении платформы. Для это определим его составляющие, действующие на каждую из граней платформы.

В общем виде момент сопротивления, действующий на бесконечно малый элемент юбки, можно определить по формуле:

$$dM_{TP} = dF_{TP1} \cdot \rho \quad (16)$$

Где dF_{TP1} – сила трения скольжения, возникающая при перемещении бесконечно малого элемента юбки по полу;

ρ – радиус-вектор, проведенный из начала координат О до бесконечно малого элемента юбки.

Подставив в (16) выражение (1) и определив величину радиус-вектора ρ из рисунка 4, запишем моменты сопротивления для каждой из сторон платформы:

$$M_{TP1} = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2} dx \quad (17)$$

$$M_{TP2} = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \sqrt{(y)^2 + (r + 0.5 \cdot a)^2} dy \quad (18)$$

$$M_{TP3} = \int_{-0.5 \cdot a}^{0.5 \cdot a} q \cdot f \cdot \sqrt{(0.5 \cdot b)^2 + (r + x)^2} dx \quad (19)$$

$$M_{TP4} = \int_{-0.5 \cdot b}^{0.5 \cdot b} q \cdot f \cdot \sqrt{(y)^2 + (r - 0.5 \cdot a)^2} dy \quad (20)$$

Определим суммарные составляющие сил сопротивления, действующие на платформу, а также момент сил сопротивления:

$$F_X = F_{TP1}^X + F_{TP2}^X + F_{TP3}^X + F_{TP4}^X \quad (21)$$

$$F_Y = F_{TP1}^Y + F_{TP2}^Y + F_{TP3}^Y + F_{TP4}^Y \quad (22)$$

$$M = M_{TP1} + M_{TP2} + M_{TP3} + M_{TP4} - F_Y \cdot r \quad (23)$$

В выражение (23) слагаемое $F_Y \cdot r$ возникает в следствии переноса действующих сил из центра системы координат O к центру вращения тележки N .

Изобразим полученные зависимости (21), (22), (23) на графике (рис. 5).

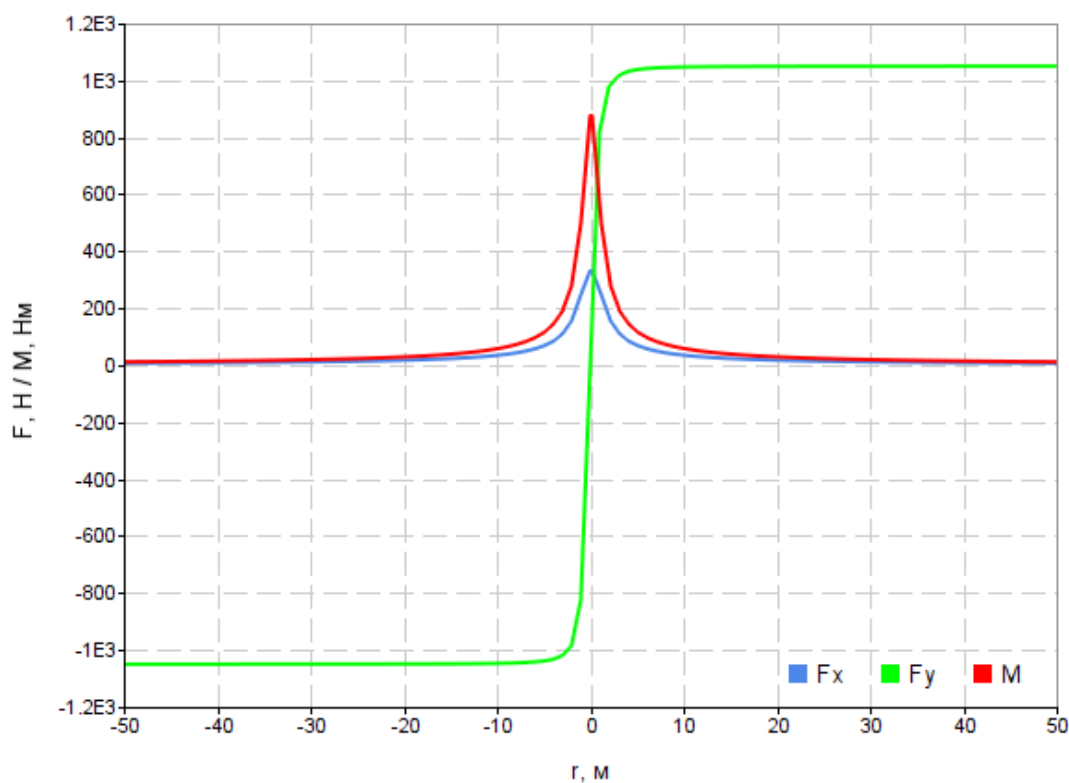


Рис. 5. Зависимость суммарных составляющих сил сопротивления от радиуса поворота платформы

Используя полученные выражения, можно построить зависимость между радиусом поворота платформы и моментами, которые необходимо развить двигателям приводных колес (M_{K1} и M_{K2}). Для дальнейших вычислений примем, что радиус приводного колеса $R = 0.075$ м, а расстояние между ними $2e = 0.85$ м (рис. 6).

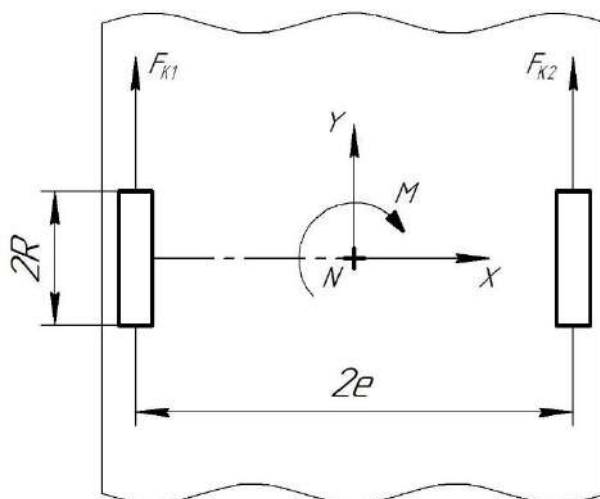


Рис. 6. Расчетная схема

Для того, чтобы движение было возможно, должно выполняться следующее неравенство:

$$\frac{M_{K1}}{R} + \frac{M_{K2}}{R} > F_Y \quad (24)$$

где $\frac{M_{K1}}{R} = F_{K1}$ – сила тяги, создаваемая первым колесом;

$\frac{M_{K2}}{R} = F_{K2}$ – сила тяги, создаваемая вторым колесом;

F_Y – сила сопротивления, действующая вдоль оси Y и описываемая выражением (22).

Аналогично составим неравенство, при выполнении которого возможен поворот платформы вокруг центра N:

$$\frac{M_{K1}}{R} \cdot e - \frac{M_{K2}}{R} \cdot e > M \quad (25)$$

где M – момент сил сопротивления, приведенный к центру вращения тележки N.

Решая (24) и (25), получим выражения для M_{K1} и M_{K2} :

$$M_{K1} = F_Y \cdot R - M_{K2} \quad (26)$$

$$M_{K2} = \frac{R \cdot (F_Y \cdot e - M)}{2 \cdot e} \quad (27)$$

Изобразим полученные зависимости (26), (27) на графике (рис. 7).

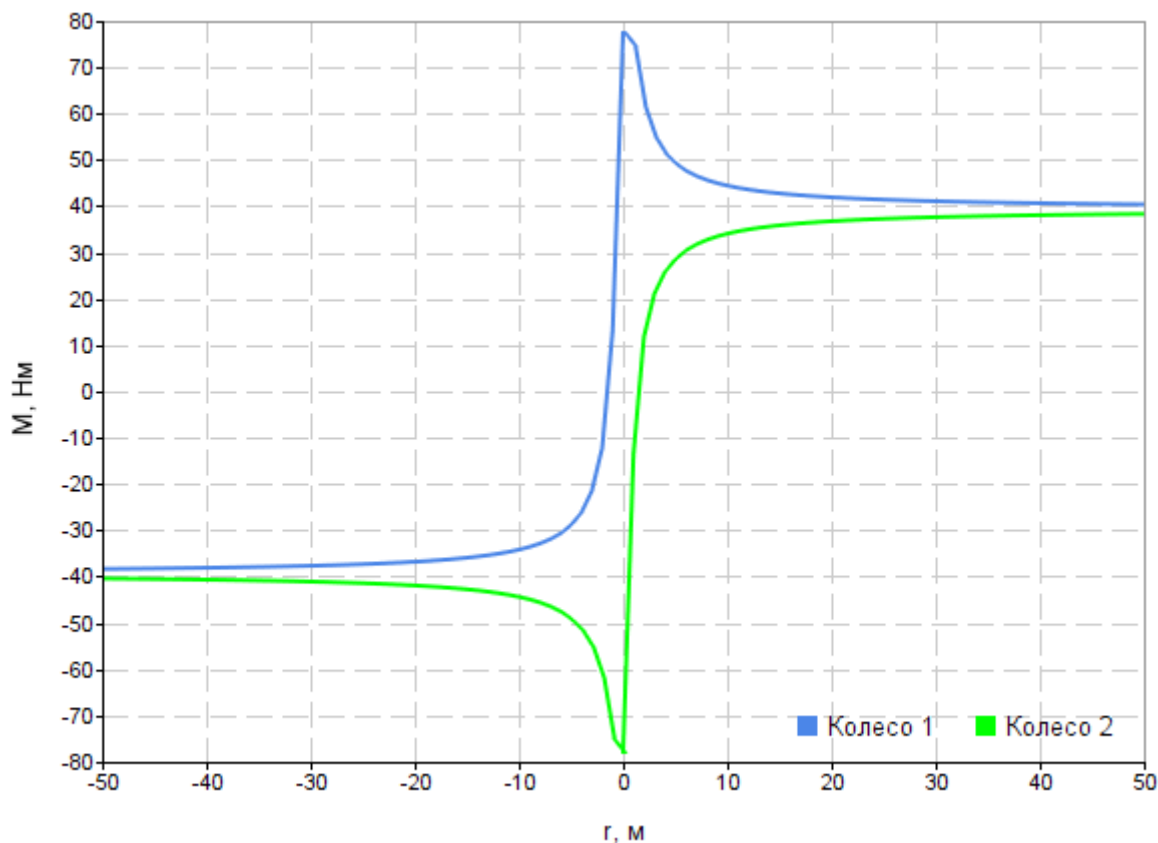


Рис. 7. Зависимость крутящих моментов приводных колес от радиуса поворота платформы

Выводы

Проанализируем полученные зависимости. Из графика, изображенного на рисунке 5 видно, что при увеличении радиуса окружности, по которому осуществляется движение платформы, величина составляющей сил сопротивления, направленная вдоль оси X , стремится к нулю. При минимальном же радиусе – в случае, когда платформа вращается на месте – эта составляющая имеет максимальное значение. Аналогичная ситуация и с моментом сил сопротивления.

В то же время составляющая сил сопротивления, направленная вдоль оси Y , принимает минимальное значение в случае вращения платформы вокруг ее оси. При увеличении же радиуса поворота можно увидеть резкий рост величины данной составляющей.

Из графика, изображенного на рисунке 7 видно, что при малом радиусе поворота необходимо развить большой момент на одном из приводных колес, чтобы преодолеть возникающие силы сопротивления. При увеличении радиуса

поворота платформы величина данного момента снижается, причем величина снижения достигает 40-50% при увеличении радиуса в 10 раз (с 1 до 10 м).

Кроме того, стоит отметить изменение характера зависимостей в точках, соответствующих радиусу поворота, равному 1 м. При меньшем радиусе поворота момент, который необходимо развить на колесе, находящемся «снаружи» траектории, изменяется по линейному закону. Отметим, что данные точки располагаются на границе рассматриваемой платформы, а также, учитывая принятые упрощения, на границе уплотнения воздушной подушки.

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ СИСТЕМ ДВС ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ГАЗОАНАЛИЗА

Меньшенин А.С. – аспирант 1 курса, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Научный руководитель: Гриценко А.В. – д.т.н., профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

В статье рассматривается взаимосвязь между техническим состоянием автомобильного транспорта и количественным содержанием отработавших газов, проведены эксперименты по поиску зависимости состава отработавших газов с неисправностью систем ДВС.

Автомобильный транспорт занимает лидирующие позиции в грузообороте и пассажирообороте. По статистическим данным автопарк на территории РФ с каждым годом значительно увеличивается, в 2017 г. он составлял 42 млн автомобилей, а на 2020 г. уже около 53 млн автомобилей¹.

По количеству отказов топливная система автотракторных ДВС занимает лидирующее место и, в частности, электромагнитная форсунка.

Любые отклонения топливоподачи в сторону плюса или минуса проявляются существенным изменением параметров токсичности отработавших газов, причем в зоне предельных отклонений пропускной способности

¹ Автостат. Аналитическое агентство. [Электронный ресурс] URL: <https://www.autostat.ru/news/42973/> (Дата обращения 17.01.2021).

электромагнитной форсунки степень изменения концентрации отработавших газов изменяется в 3-7 раз по сравнению с эталоном².

В связи с этим возникает необходимость в выборе информативных диагностических параметров на основе газоанализа для достоверной оценки технического состояния, что позволит снизить риски внезапных отказов, а также уменьшить негативное влияние на экологию.

Отработавшие газы – основной источник токсичных веществ ДВС – это неоднородная смесь различных газообразных веществ с разнообразными химическими и физическими свойствами, состоящая из продуктов полного и неполного сгорания топлива, избыточного воздуха, аэрозолей и различных микропримесей (как газообразных, так и в виде жидких и твердых частиц), поступающих из цилиндров двигателей в его выпускную систему.

В своем составе они содержат около 300 веществ, большинство из которых токсичны. Основными нормируемыми токсичными компонентами выхлопных газов двигателей являются оксиды углерода, азота и углеводорода.

Кроме того, с выхлопными газами в атмосферу поступают предельные и непредельные углеводороды, альдегиды, канцерогенные вещества, сажа и другие компоненты (табл. 1)³.

Табл. 1

Содержание отработавших газов в %.

Состав отработавших газов	Содержание в объеме, %	
	Бензин	Дизель
N ₂	74 – 77	76 78
CO ₂	5,0 – 12,0	1,0 – 10,0
CO	0,1 – 10,0	0,01 – 0,5
H ₂ O	3,0 – 5,5	0,5 – 4,0
CH	0,2 – 3,0	0,009 – 0,5
O ₂	0,3 – 0,8	2,0 – 18,0

² Плаксин А.М., Гриценко А.В. Разработка средств и методов тестового диагностирования машин // Вестник КрасГАУ. 2013. № 12. С. 123-128.

³ Гриценко А.В., Куков С.С. Обоснование и разработка средств и методов диагностирования двигателей внутреннего сгорания автомобилей / Материалы I Междунар. науч.-техн. конф. «Достижения науки – агропромышленному производству» / под ред. Н. С. Сергеев. Челябинск : ЧГАА, 2011. С. 7–11.

Углеводороды (СН) – компоненты не сгоревшего топлива, их содержание измеряется в частях на миллион по объему (PPM). Нормально работающий двигатель сжигает в цилиндрах практически все топливо, допустимое содержание СН должно быть менее 50 PPM. Бензин является канцерогеном. Повышенное содержание СН может объясняться, например, большим потреблением масла через слабые уплотнительные кольца поршней. Чаще всего увеличенное содержание СН вызывается неполадками в системе зажигания.

Оксид углерода (СО) – неустойчивое химическое соединение, легко вступающее в реакцию с кислородом, дающую двуокись углерода СО₂. СО – ядовитый газ без цвета, вкуса и запаха. Вступая в легких в реакцию с воздухом, лишает мозг кислорода. Уровень СО в выхлопных газах для современных автомобилей с впрыском топлива не должен превышать 0,5%⁴. Возможные причины повышения содержания СО следующие:

- 1) неисправность системы вентиляции картера;
- 2) засорение воздушного фильтра;
- 3) нарушение оборотов двигателя на холостом ходу;
- 4) повышенное давление топлива.

Для подтверждения теоретических предпосылок были проведены эксперименты по поиску зависимости состава отработавших газов с неисправностью систем ДВС.

Эксперименты проводились с имитацией неисправности выпускной системы, неисправности системы подачи топлива, а также неисправной системой зажигания. (рис. 1–4).

Для проверки выхлопных газов определяется содержание в них окиси углерода, кислорода, двуокиси углерода и углеводорода⁵.

⁴ Снижение токсичности отработавших газов дизельного двигателя путем отключения части его цилиндров / В. Н. Кожанов, А. А. Петелин, А. В. Гриценко, В. Д. Шепелев // Вестник ЮУрГУ. Серия машиностроение. 2018. Т. 18. № 2. С. 34-44.

⁵ Гриценко А. В., Салимоненко Г. Н. Контроль технического состояния автотранспорта на основе анализа отработавших газов / В сборнике: Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения. Сборник трудов IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов. Южно-Уральский технологический университет. Челябинск. 2020. С. 35-42.

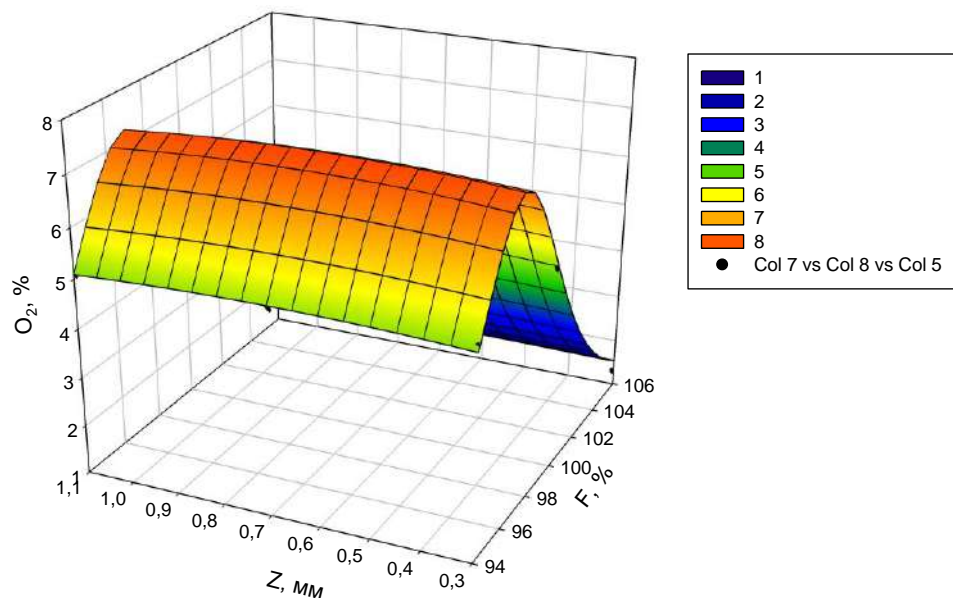


Рис. 1. Графическая взаимосвязь концентрации O_2 % от Z и F , где Z - зазор в свече зажигания, мм; F - пропускная способность электромагнитной форсунки, %.

Свободный кислород в выхлопном газе появляется при избытке воздуха в топливно-воздушной смеси. Так при наименьшей пропускной способности форсунки и минимальном искровом промежутке свечи зажигания приводит к плохому сгоранию топливно-воздушной смеси, процентное содержание O_2 в таком случае равняется 7,3%. С увеличением искрового промежутка, а также повышением пропускной способности форсунки наблюдается уменьшение содержания O_2 до 1,5%, что свидетельствует о переходе на переобогащенную смесь (рис. 1)⁶.

⁶ Гриценко А. В., Салимоненко Г. Н., Назаров М. В. Разработка способа тестового диагностирования двигателя внутреннего сгорания на основе анализа состава отработавших газов. Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2020. Т. 67. № 1 (38). С. 104-110.

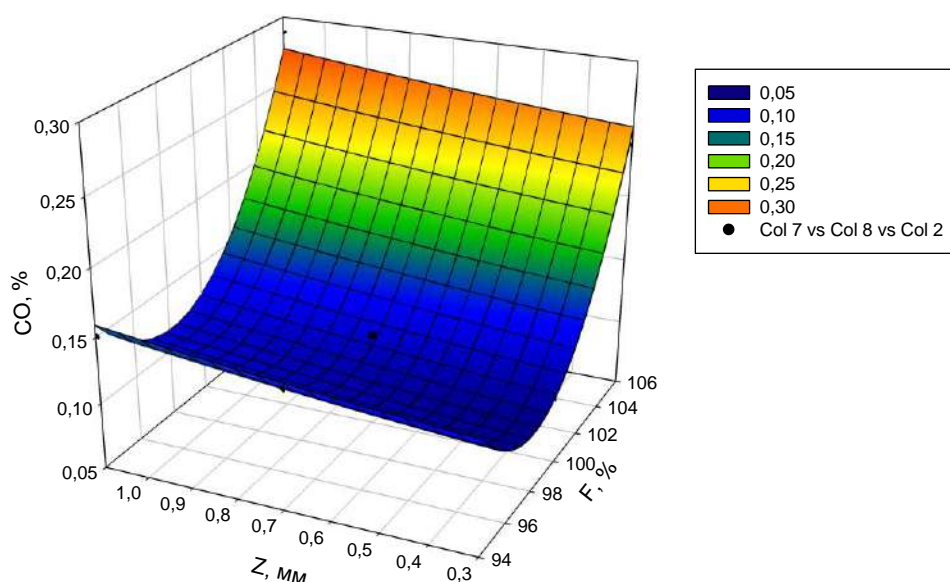


Рис. 2. Графическая взаимосвязь содержания CO % от Z и F, при сопротивлении нейтрализатора 10 мм, где Z – зазор в свече зажигания, мм; F – пропускная способность электромагнитной форсунки, %.

Проводя анализ (рис. 2) можно сделать вывод о том, что при подаче форсунки 98% и искровом промежутке свечи зажигания 0,3мм отслеживается максимально низкое процентное содержание CO, что говорит о том, что топливно-воздушная смесь является бедной и указывает на неисправность систем.

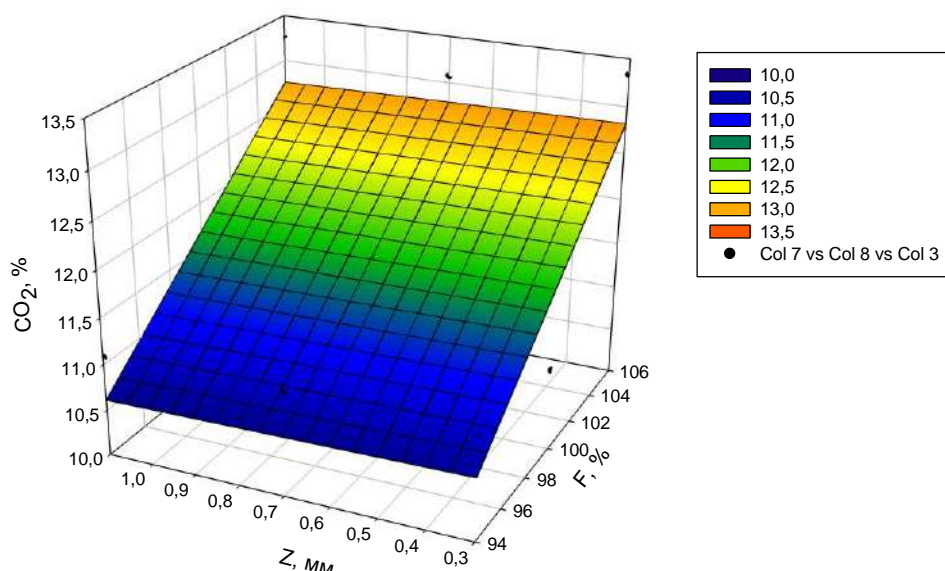


Рис. 3. Графическая взаимосвязь содержания CO₂ % от Z и F, при сопротивлении нейтрализатора 10мм, где Z - зазор в свече зажигания, мм; F - пропускная способность электромагнитной форсунки, %.

Наиболее высокое содержание CO₂ возникает при полном сгорании топлива, на (рис. 2) наиболее полное сгорание происходит при минимальном искровом зазоре и максимальной пропускной способности форсунки.

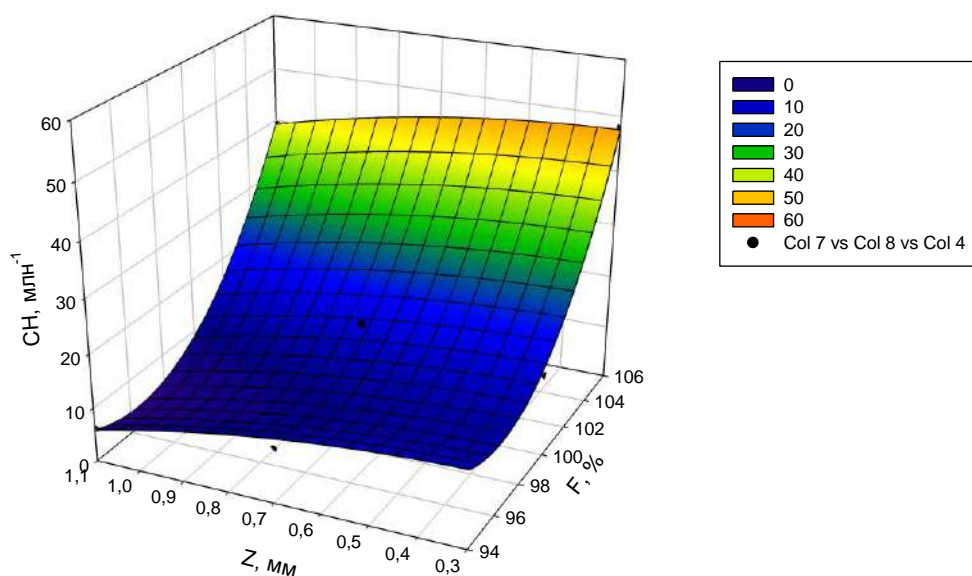


Рис. 4. Зависимость содержания CH млн⁻¹ от Z и F, при сопротивлении нейтрализатора 10мм, где Z - зазор в свече зажигания, мм; F - пропускная способность электромагнитной форсунки, %.

Увеличение пропускной способности форсунки и уменьшение искрового зазора приводит к росту содержания CH на 40%, что напрямую свидетельствует о неисправностях в работе топливной системы.

Анализ результатов графиков отработанных газов автомобильного двигателя при вводе неисправностей показывает существенное превышение содержания как оксида углерода, так и углеводородов.

Исходя из вышеизложенного, можно сделать вывод о том, что техническое состояние двигателя оказывает самое непосредственное влияние на токсичность отработанных газов.

ОБОСНОВАНИЕ ПОТРЕБНОСТИ В АВТОМОБИЛЯХ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТРАНСПОРТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПО МИНИМАЛЬНЫМ ЗАТРАТАМ

Мухамадиев Э.Г. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Попова С.Ю. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Аннотация

В статье рассмотрена методика определения рациональной загрузки автомобилей и потребности в автомобилях при реализации транспортных процессов по минимальным затратам с учетом недополученного дохода от простоев по техническим причинам.

Потребность в автомобилях для реализации транспортного процесса в ограниченные сроки определяется множеством факторов, основными из которых являются технические свойства транспортных средств, дорожные условия, затраты времени на погрузочно-разгрузочные работы, и т. д. Технические свойства транспортного средства, к которым относятся грузоподъемность, скоростная характеристика, уровень надежности и ряд других конструктивных показателей закладываются при конструировании. Для производств, связанных с использованием материала при непрерывном цикле производства, где транспортные средства выступают в качестве вспомогательных агрегатов, роль которых состоит в непрерывном снабжении материала, потребность в автомобилях определяется, как технологически необходимое с учетом определенного резерва по производительности. Резерв в данном случае необходим для обеспечения непрерывности основного производственного процесса, сглаживания возможных перебоев в транспортировке материала. В качестве примера к подобным видам производства можно отнести дорожное строительство, где прерывание подачи материала к основному агрегату может относиться к нарушению технологии формирования дорожного полотна.

Технологически необходимая численность транспортных средств при ограниченной длительности перевозки определяется выражением¹:

¹ Саклаков В.Д., Сергеев М.П. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации. М.: Колос, 1973. 200 с.

$$m = \frac{Q}{D_p \cdot T_{см} \cdot K_{см} \cdot W_{ч}}, \text{ или } m = \frac{Q}{M_{ч}^z \cdot W_{ч}}, \quad (1)$$

где m – количество единиц транспорта, шт.;

Q – объем транспортных работ, подлежащий реализации в течение ограниченного периода (в течение года, сезона, и т. д.), тонно-километры (ткм);

$T_{см}$ – продолжительность смены, ч;

$K_{см}$ – коэффициент сменности (коэффициент, учитывающий число рабочих смен в сутки);

D_p – число рабочих дней (ограничение по длительности грузоперевозок в течение года, сезона, и т.д.);

$M_{ч}^z$ – загрузка одного транспортного средства (в течение года, сезона, и т.д.), машинно-часы (маш.ч);

$W_{ч}$ – часовая производительность транспортного средства, ткм/ч.

Объем транспортных работ в данном случае определяется массой груза G (тонны) и расстоянием грузоперевозки L_r , км:

$$Q = G \cdot L_r. \quad (2)$$

Производительность транспортного средства можно представить в виде:

$$W_{ч} = K_{ин} \cdot g \cdot \gamma \cdot \frac{L_{cc}}{T_{см} \cdot K_{см}}, \quad (3)$$

где $K_{ин}$ – коэффициент использования пробега;

g – грузоподъемность транспортного средства, т;

γ – коэффициент использования грузоподъемности;

L_{cc} – среднесуточный пробег, км;

С учетом выражения (3) технологически необходимая численность транспортных средств можно представить в виде:

$$m = \frac{Q \cdot T_{см} \cdot K_{см}}{M_{ч}^z \cdot K_{ин} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{cc}}. \quad (4)$$

При данном подходе основным критерием определения потребности в транспортных средствах выступает непрерывность процесса, так как транспорт относится к звену обеспечения основного производства. Экономическая эффективность использования транспортных средств в данном случае уходит на

второй план, хотя на себестоимость основного производства оказывает существенное влияние².

В случае осуществления транспортного процесса, как основного, цель которого извлечение прибыли от реализации транспортных услуг, экономическая эффективность использования автомобилей в виде максимальной прибыли (минимальных затрат), выходит в качестве основного критерия на первый план. Объем работ в данном случае может исчисляться в тоннах, ткм, машинно-часах использования транспорта. Соответственно по данным единицам могут устанавливаться тарифные ставки их стоимости на рынке транспортных услуг. В частности, в городской черте используется в основном стоимость машинно-часа, при дальних перевозках вне городской черты в основном стоимость одного ткм.

Возникает вопрос, какая численность транспортных средств необходима для выполнения заданного объема работ в определенные сроки при минимальных затратах, т.к. каждая дополнительная единица техники, участвующая в процессе – это дополнительные затраты. Не стоит исключать и стоимость недополученного дохода от простоев транспорта по различным причинам, включая затраты времени на техническое обслуживание и ремонт.

Эксплуатационные затраты грузоперевозок автомобилями, при использовании в качестве единицы измерения объема транспортных работ машинно-часы, в упрощенном виде можно представить в следующем виде³:

$$C_{г} = \frac{B \cdot \alpha}{100} + C_{то} \cdot M_{ч}^c + T_{ст} \cdot M_{ч}^c + q \cdot Ц_{т} \cdot M_{ч}^c, \quad (5)$$

где B – балансовая стоимость автомобиля, руб.;

α – норматив отчислений на амортизацию, %;

$C_{то}$ – затраты, связанные с техническим обслуживанием и ремонтом, руб./ч;

$T_{ст}$ – часовая заработная плата водителя, руб./ч;

$Ц_{т}$ – цена используемого топлива, руб./кг;

q – часовой расход топлива, кг/час;

2 Влияние прибыльности и рентабельности производства продукции растениеводства на показатели энергетической эффективности. Мухамадиев Э.Г.В сборнике: Достижения науки - агропромышленному производству. Материалы XLVII Международной научно-технической конференции, посвященной 100-летию со дня рождения И. Е. Ульянова. Челябинский государственный агроинженерный университет. 2008. С. 45-50.

3 Методический подход к обоснованию уровня технической оснащенности производственных процессов при возделывании сельскохозяйственных культур с учетом элементов случайности темпа развития растений. Мухамадиев Э.Г. Вестник Челябинского агроинженерного университета. 2009. Т. 54. С. 46-56.

Общие затраты на транспортный процесс, приходящихся на один машинно-час, представляющие собой в упрощенном виде себестоимость одного машинно-часа, можно представить в виде:

$$C_m = \frac{C_z}{M_q^z} = \frac{B \cdot (\alpha)}{100 \cdot M_q^z} + C_{TO} + T_{cm} + q \cdot C_m. \quad (6)$$

Анализируя данное выражение, можно сделать вывод, что с увеличением загрузки M_q^z затраты C_m будут снижаться. Это в свою очередь способствует увеличению недополученного дохода в виду неполного использования времени смены в результате простоев при техническом обслуживании и ремонте. Недополученный доход можно представить в виде:

$$C_d = \frac{M_{нд} \cdot C_p}{D_p \cdot T_{cm} \cdot K_{cm}}, \quad (7)$$

где C_d – недополученный доход, руб./маш.ч.

$M_{нд}$ – не реализованный объем работ по причине простоев, маш.ч;

C_p – цена реализации услуг, руб./маш.ч.

Нереализуемый объем связанный с необходимыми простоями автомобилей представляем в виде:

$$M_n = (1 - K_{ти} \cdot \tau) \cdot M_q^z. \quad (8)$$

где $K_{ти}$ – коэффициент технического использования, учитывающего простои при техническом обслуживании и ремонте (принимается на основе нормативных данных, или рассчитывается по фактическим данным простоев автомобилей в ТО и ремонте);

τ – коэффициент использования времени смены, учитывающего полноту использования времени смены при реализации транспортного процесса.

С целью учета простоев по иным причина не связанных с техническим состоянием введем коэффициент неравномерности K_3 , позволяющего на стадии расчетов заложить резерв по времени для сглаживания неравномерности выполняемого объема работ (величина коэффициента может быть принята в пределах 0,05-0,1)⁴:

$$M_{нд} = (1 - K_{ти} \cdot \tau - K_3) \cdot M_q^z. \quad (9)$$

Величину недополученного дохода (7) с учетом (9) представляем в виде:

⁴ Саклаков В.Д., Сергеев М.П. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации. М.: Колос, 1973. 200 с.

$$C_{\partial} = \frac{(1 - K_{mi} \cdot \tau - K_3) \cdot M_q^z \cdot Ц_p}{D_p \cdot T_{cm} \cdot K_{cm}} . \quad (10)$$

Суммарные затраты, с учетом недополученного дохода, в таком случае определяются выражением:

$$C = C_m + C_{\partial} = \frac{B \cdot (\alpha)}{100 \cdot M_q^z} + C_{TO} + T_{cm} + q \cdot Ц_m + \frac{(1 - K_{mi} \cdot \tau - K_3) \cdot M_q^z \cdot Ц_p}{D_p \cdot T_{cm} \cdot K_{cm}} . \quad (11)$$

Зависимость (11) и ее составляющие относительно величины загрузки M_q^{Γ} в графическом виде (рис. 1) наглядно показывает различный характер изменения составляющих и наличие минимума функции, соответствующей минимальным затратам.

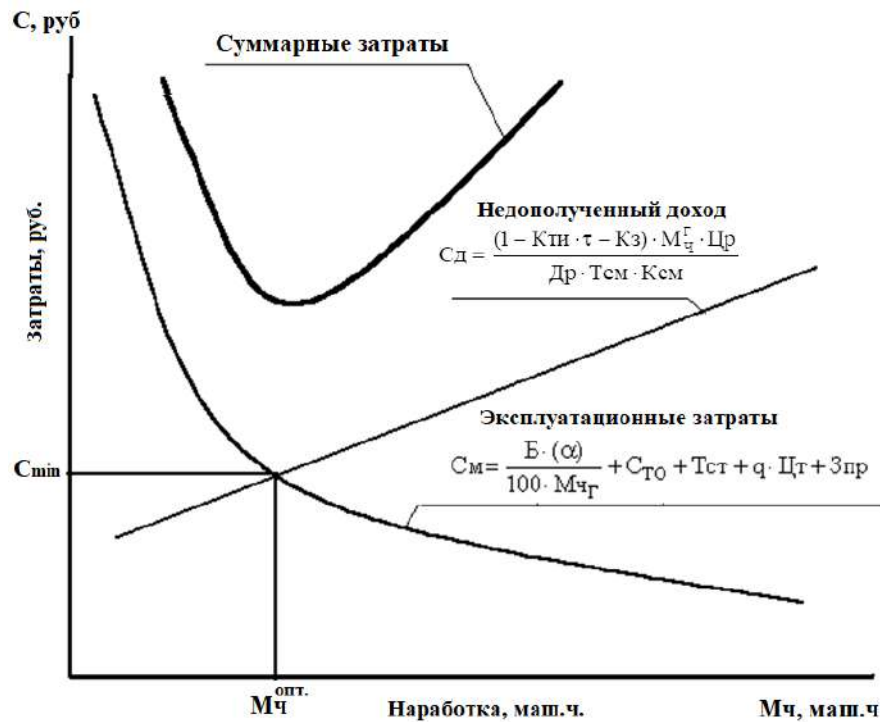


Рис. 1. Изменение суммарных затрат в зависимости от загрузки

Дифференцируя функцию (11) относительно M_q^{Γ} (12) с последующим определением экстремального значения, получаем выражения для определения оптимальной загрузки автотранспорта (13).

$$C = \frac{dC}{dM_q^{\Gamma}} = -\frac{B \cdot (\alpha)}{100 \cdot (M_q^z)^2} + \frac{(1 - K_{mi} \cdot \tau - K_3) \cdot Ц_p}{D_p \cdot T_{cm} \cdot K_{cm}} = 0, \quad (12)$$

$$M_q^{\Gamma(0)} = \sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot T_{cm} \cdot K_{cm}}{100 \cdot (1 - K_{mi} \cdot \tau - K_3) \cdot Ц_p}} . \quad (13)$$

Выражение (13) может использоваться для определения численности автотранспорта при известном объеме работ, соответствующего минимальным затратам по формуле (1).

С учетом выражения для определения часовой производительности (3), годовая загрузка в тонно-километрах можно представить в следующем виде:

$$W_{\text{ткм}} = M_{\text{ч}}^2 \cdot W_{\text{ч}} = M_{\text{ч}}^2 \cdot K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot \frac{L_{\text{сц}}}{T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}, \quad (14)$$

где $W_{\text{ткм}}$ – годовой объем работ, ткм;

Тогда:

$$M_{\text{ч}}^2 = \frac{W_{\text{ткм}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}{K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}}. \quad (15)$$

Решая совместно (13) и (15) относительно величины $W_{\text{ткм}}$, имеем:

$$\frac{W_{\text{ткм}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}{K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}} = \sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}{100 \cdot (1 - ((K_{\text{ми}} \cdot \tau) - K_3)) \cdot C_p}},$$

$$W_{\text{ткм}} = \sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot K_{\text{ун}}^2 \cdot g^2 \cdot \gamma^2 \cdot L_{\text{сц}}^2}{100 \cdot (1 - ((K_{\text{ми}} \cdot \tau) - K_3)) \cdot C_p \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}}. \quad (16)$$

Цену реализации транспортных услуг C_p выразим через цену одного тонно-километра

$$C_{\text{ткм}} = \frac{C_p \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}{K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}} \quad \text{или} \quad C_p = \frac{C_{\text{ткм}} \cdot K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}}{T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}. \quad (17)$$

Поле подстановки уравнения (17) в (16) и соответствующих преобразований, окончательное выражение для определения оптимальной загрузки автомобиля (в тонно-километрах) представляет следующий вид:

$$W_{\text{ткм}} = \sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot K_{\text{ун}}^2 \cdot g^2 \cdot \gamma^2 \cdot L_{\text{сц}}^2}{100 \cdot (1 - ((K_{\text{ми}} \cdot \tau) - K_3)) \cdot \frac{C_{\text{ткм}} \cdot K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}}{T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}} \cdot T_{\text{см}} \cdot K_{\text{см}}}}, \quad \text{или}$$

$$W_{\text{ткм}} = \sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}}{100 \cdot (1 - ((K_{\text{ми}} \cdot \tau) - K_3)) \cdot C_{\text{ткм}}}}. \quad (18)$$

Таким образом, рациональное численность транспортных средств, необходимых для транспортировки определенного объема груза в течение ограниченного периода (для рассматриваемого случая года), соответствующее минимальным затратам может быть определено выражением:

$$m = \frac{Q}{W_{\text{ткм}}} = \frac{Q}{\sqrt{\frac{B \cdot (\alpha) \cdot D_p \cdot K_{\text{ун}} \cdot g \cdot \gamma \cdot L_{\text{сц}}}{100 \cdot (1 - ((K_{\text{ми}} \cdot \tau) - K_3)) \cdot C_{\text{ткм}}}}}. \quad (19)$$

Полученные выражения (13) и (19) позволяют на стадии проектирования определить рациональную с точки зрения затрат загрузку автотранспорта и их количество, необходимого для реализации транспортного процесса в ограниченные сроки с учетом недополученного дохода от простоев. Следует отметить, что выражение (19) может использоваться для сравнительной оценки эффективности различных марок автомобилей и обоснования рационального состава транспортного звена для реализации определенного объема транспортных работ в ограниченные по времени сроки по величине затрат.

ИННОВАЦИОННАЯ ОСТАНОВКА ОБЩЕСТВЕННОГО ТРАНСПОРТА

Полетаев Д.А. – к.ф.-м.н., доцент, ФГАОУ «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Соколенко Б.В. – к.ф.-м.н., доцент, ФГАОУ «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Скиданов И.К. – студент, ОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова»

Аннотация

В работе представлена разработанная система для системы остановок общественного транспорта. Обсуждаются конструктивные особенности комплекса, возможности его внедрения.

На остановках общественного транспорта встречаются пенсионеры, которые обращаются к рядом стоящим потенциальным пассажирам с просьбой остановить требуемый им автобус или подсказать, какой номер автобуса приближается. Не все владельцы смартфонов умеют пользоваться картами и транспортными электронными сервисами. Более того, в темное время суток водители общественных транспортных средств (ОТС), в силу различных причин, проезжают мимо остановок, игнорируя потенциальных пассажиров. Это подводит к необходимости разработки системы, которая не только оповещает граждан о приближающемся транспорте, но и имеет модуль обратной связи, который осуществляет подачу сигнала от потенциального пассажира водителю.

Целью работы является разработка программно-аппаратного комплекса для остановок общественного транспорта, способного отображать информацию

о подходящих транспортных средствах, а также осуществлять подачу сигнала от потенциального пассажира водителю.

Структурная схема разработанного программно-аппаратного комплекса представлена на рис. 1.

Программно-аппаратный комплекс (по рис. 1) представляет собой блоки ОТС и терминала. Блок ОТС содержит устройства связи с блоком терминала и индикаторы. Блок терминала, расположенный на остановке общественного транспорта, содержит устройство связи с блоком ОТС, устройства ввода/вывода данных.

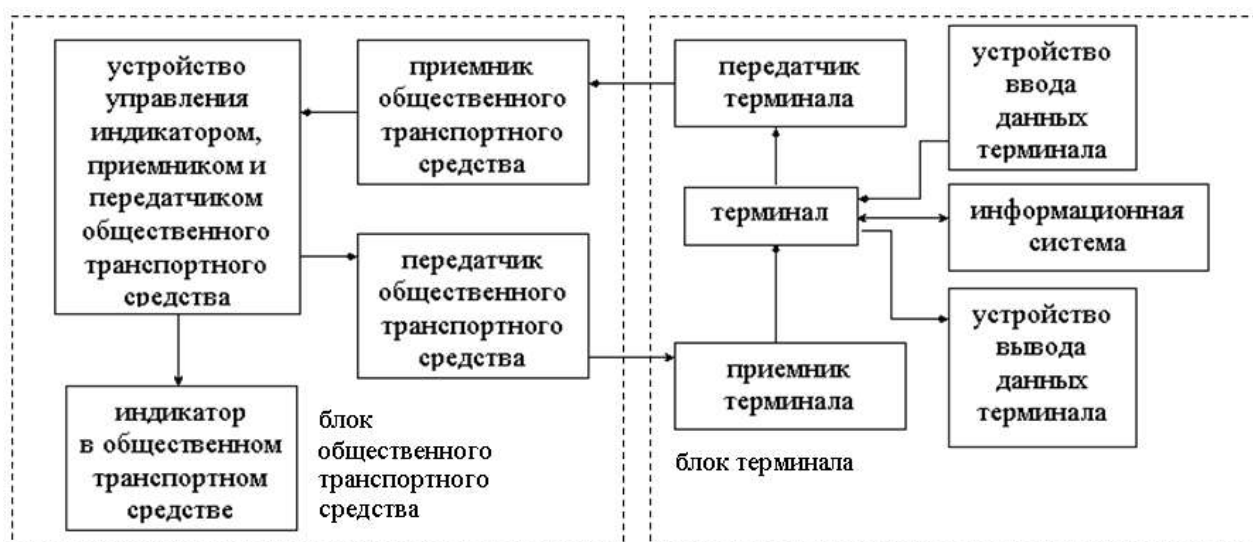


Рис. 1. Структурная схема

Комплекс работает следующим образом. На ОТС располагаются устройство управления индикатором, приемником и передатчиком ОТС, индикатор в ОТС, приемник ОТС, передатчик ОТС. При этом устройство управления индикатором, приемником и передатчиком ОТС содержит уникальный идентификатор ОТС и номер его маршрута. Эти данные устройство управления индикатором приемником и передатчиком ОТС (представленное в виде микроконтроллерного блока¹²) передает на передатчик ОТС. Терминал с подключенными к нему передатчиком терминала, приемником терминала, устройством ввода данных терминала, устройством вывода данных терминала, может располагаться как на остановке общественного транспорта, так и в руках

¹ Евстифеев А.В. Микроконтроллеры avr семейств tiny и mega фирмы atmel. М.: Додэка. 2005. 480 с. С. 22.

² Королев Н. Atmel: новые 8-разрядные avr-микроконтроллеры // Компоненты и технологии. 2012. № 12. С. 24-27.

у заинтересованного пользователя (возможна конструкция в виде модуля для смартфона). При приближении ОТС к терминалу, приемник терминала принимает данные с передатчика ОТС. При этом терминал отображает номер маршрута ОТС на устройстве вывода данных терминала, считывает информацию об остановках данного маршрута из информационной системы. Пользователь, убедившись в том, что маршрут ОТС ему подходит, через устройство ввода данных терминала запрашивает остановку ОТС. При этом терминал подает сигнал остановки на передатчик терминала. Передатчик терминала передает данные на приемник ОТС, который передает данные на устройство управления индикатором, приемником и передатчиком ОТС. Устройство управления индикатором, приемником и передатчиком ОТС включает индикатор в ОТС, сигнализирующее водителю о запрошенной снаружи транспортного средства остановке. Контролируя уровень сигнала с передатчика ОТС на приемнике терминала, терминал отслеживает факт остановки ОТС по требованию пользователя. В случае движения ОТС без остановки, терминал передает уникальный идентификатор ОТС в информационную систему. Кроме того, даже без приближающегося ОТС к терминалу, пользователь с помощью устройства ввода данных терминала может ввести в терминал необходимый ему номер ОТС. При этом терминал отображает на устройстве вывода данных терминала информацию об остановках данного маршрута, полученные из информационной системы. При вводе пользователем номера ОТС, терминал ожидает приближение ОТС к терминалу, считывает данные с передатчика ОТС с помощью приемника терминала, сравнивает номер ОТС с номером, который запросил пользователь. В случае их совпадения терминал подает сигнал на передатчик терминала остановки указанного пользователем ОТС.

На описанный программно-аппаратный комплекс получен патент РФ на изобретение. Членами студенческого конструкторского бюро Физико-технического института Крымского федерального университета имени В.И. Вернадского разработан прототип на базе микроконтроллерной системы, проведены тестовые испытания. В настоящее время ведутся работы по разработке интуитивного графического интерфейса для терминалов.

Предлагаемый программно-аппаратный комплекс, работая описанным образом, повышает удобство использования общественного транспорта представителями старшего поколения, а также увеличивает

дисциплинированность водителей ОТС за счет реализации обратной связи между водителем и потенциальным пассажиром.

ОЦЕНКА РИСКОВ И ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ОБЪЕКТОВ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА

Татаринцев В.А., – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Буркун А.В. – студент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Дробков К.В. – студент, ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Аннотация

В работе рассмотрен подход к оценке рисков чрезвычайных ситуаций на транспорте и повышению его безопасности. Показано, что прогнозирование рисков на железнодорожном транспорте определяется процессами деформирования и разрушения в опасных точках высоконагруженных зон критических элементов объектов транспорта. Управление процессами деградации объектов транспорта путём применения систем диагностики и реновационных технологий на всех стадиях жизненного цикла обеспечивает его безопасность и защищённость от чрезвычайных ситуаций.

Важнейшим условием эффективного функционирования железнодорожного транспорта является устойчивость его работы. При этом главный критерий устойчивости перевозочного процесса – скорость его восстановления после прекращения действия дестабилизирующего фактора, а в качестве меры устойчивости можно принять запасы прочности. Так одним из дестабилизирующих факторов являются чрезвычайные ситуации. Оценка риска нарушений безопасности движения на транспорте должна включать две группы показателей, характеризующих последствия аварий: материальный и социальный ущерб, вероятностные показатели реализации аварии. Риском чрезвычайной ситуации принято считать меру опасности такой ситуации, сочетающую вероятность возникновения этого события и его последствий. Чаще всего риск выражают в количественных показателях, что позволяет обеспечивать сравнимость степеней опасности объектов и процессов системы на

различных этапах проведения анализа риска¹. Если рассматривать риск с точки зрения вероятности возникновения негативного события, то его можно рассчитать по формуле:

$$R = n / N, \quad (1)$$

где n – число свершившихся чрезвычайных событий; N – возможное число событий, на которое могут распространяться негативные последствия за расчётный период. С другой стороны, риск можно выразить через ущерб от наступления неблагоприятного события, тогда его можно рассчитать по формуле:

$$R = P \cdot U, \quad (2)$$

где P – вероятность наступления неблагоприятного события; U – математическое ожидание ущерба от этого события.

Объекты железнодорожного транспорта подразделяются следующим образом²:

- объекты технического регулирования (рамы, автосцепки, оси, колеса);
- опасные производственные объекты (локомотивы, вагоны, тележки, составы);
- критически важные объекты (специальные составы для перевозки грузов специального назначения;
- стратегически важные объекты (мосты, тоннели).

При этом на заданной стадии t жизненного цикла анализируемого объекта риск возникновения применительно к нему $R_i(t)$ неблагоприятного i -события должен быть меньше, чем заданный для этого объекта приемлемый риск $[R_i(t)]$, который определяется путём снижения неприемлемого (критического) уровня риска $R_{ic}(t)$ на величину запаса n_R . Если проводить анализ рисков возникновения чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера R_S , то для вероятности реализации системных угроз можно с использованием функционала F_{PS} записать

$$P_S = F_{PS}\{P_N, P_T, P_O\}, \quad (3)$$

¹ Махутов Н.А. Разработка критериальной базы для оценки прочности, ресурса, живучести, хладостойкости и безопасности транспортных конструкций // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». 2013. № 3. С. 20–31.

² Анардович С.С., Руш Е.А. Оценка ущербов от чрезвычайных ситуаций техногенного характера на железнодорожном транспорте // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2020. № 2 (66). С. 121–128.

где P_N – вероятность возникновения неблагоприятного события, обусловленная человеческим фактором; P_T – вероятность, обусловленная состоянием объектов техносферы; P_O – вероятность, обусловленная воздействием окружающей среды.

Прогнозирование рисков чрезвычайных ситуаций, в первую очередь, направлено на минимизацию возможных неблагоприятных последствий. Последствия необходимо идентифицировать. Прогнозирование масштабов чрезвычайных ситуаций зависит от особенностей расположения объекта, причин и условий возникновения аварии. Следует отметить, что количественное определение ущерба, выраженное в человеческих жертвах либо в денежных единицах, может применяться как для прогнозирования масштабов чрезвычайных ситуаций на основании классификации чрезвычайных ситуаций, так и при разработке мероприятий по их предупреждению (снижение рисков и смягчение последствий – снижение ущерба до оптимальных величин).

Для семантического описания чрезвычайных ситуаций на макроструктурном уровне эффективно применение так называемой древовидной сети сценариев³. Она, по сути, отображает концептуальную схему анализируемых предметных и проблемных областей, которая основывается на суждениях экспертов, их опыте и интуиции. Под сценарием будем понимать правдоподобную последовательность возможных случайных событий и неслучайных действий производственно-технического персонала, сопутствующих возникновению и развитию катастрофы. Корневым вершинам древовидной сети сценариев соответствуют возможные причины чрезвычайной ситуации, а ветвям – ожидаемые сценарии развития событий, отражающие в хронологическом порядке вовлекаемые в катастрофу составные части и процессы рассматриваемого объекта и его окружения, складывающиеся ситуации, защитные мероприятия персонала, результаты действий и наступившие последствия.

Состав критических параметров должен определяться по результатам шкалирования мнений экспертов и последующего обобщения их оценок. Значения отдельных параметров характеризуют возможные микросостояния объекта, которые соответствуют тем или иным аспектам протекания внешних и внутренних процессов и формируются измерительными трактами на основании

³ Гулай А.В., Зайцев В.М. Интеллектуальная модель потенциальных рисков возникновения техногенной катастрофы // Наука и техника. 2020. Т. 19, № 5. С. 437–448.

сигналов сенсоров. Точность представления контролируемых параметров зависит от чувствительности сенсоров, характеристик трактов измерения, достоверности передачи информации по системным каналам, технической надёжности аппаратуры, алгоритмов оцифровки и обработки данных. На стадии системного анализа целесообразно полагать координаты вектора взаимно независимыми, что соответствует наиболее сложным условиям оценки энтропии возможных состояний объекта. Для оценки возможных микросостояний по каждому из параметров или каждой характеристике объекта предлагается³ задавать пределы (границы) допусков безаварийного функционирования $\alpha_{jr}(t) \in (\alpha_{jr \text{ н}}, \alpha_{jr \text{ в}})$, где $\alpha_{jr \text{ н}}$, $\alpha_{jr \text{ в}}$ – требуемые нижний и верхний пределы допуска параметра или характеристики $\alpha_{jr}(t)$ для $r = 1, 2, \dots, R$.

Выполнение этой задачи достигается позволяет оперативно выявлять зарождение аварийно опасных тенденций в возможных миграциях значений критических параметров и характеристик к индивидуальным границам допусковых диапазонов. Для осуществления контрольных операций целесообразно выделить следующие области возможного расположения значений каждого параметра или характеристики:

- рабочую область штатного функционирования объекта при размещении значения контролируемого параметра или характеристики между верхней и нижней границами данной области;

- верхнюю и нижнюю предупредительные области выработки штатных управленческих воздействий при достижении контролируемым параметром границы рабочей области штатного функционирования объекта (соответственно верхней и нижней);

- верхнюю и нижнюю аварийные области выработки экстренных управленческих воздействий при достижении контролируемым параметром соответственно верхней границы верхней предупредительной области или нижней границы нижней предупредительной области.

Рабочая область – это единственный диапазон, который может рассматриваться как область гарантированного безаварийного функционирования или жизнедеятельности объекта. Объединение рабочей и предупредительных областей соответствует диапазону условного безаварийного

функционирования. В работе⁴ представлен алгоритм расчётно-экспериментального определения, обеспечения и повышения защищённости объектов транспорта от аварий и катастроф и их влияния на среду жизнедеятельности показан на рис. 1. Его реализация требует осуществления комплекса программно-целевых мероприятий. В тех случаях, когда уровень текущей защищённости $Z_k(t)$ оказывается ниже требуемого, проводятся специальные мероприятия по повышению этого уровня. Большое значение при этом приобретает повышение точности расчетов, снижение погрешностей диагностики и мониторинга при определении состояний анализируемых объектов и качества используемых в них конструкторских решений, технологий, материалов.

В общем виде будем рассматривать систему обеспечения безопасности железнодорожного транспорта как сложную систему, представляющую совокупность компонентов (элементов), объединённых общими ресурсами, связями, функциональной средой и целью существования. Причём компонентами этой системы будем считать условно неделимые и самостоятельно функционирующие части системы. В свою очередь, используя системный подход, эта система может рассматриваться также как некоторая подсистема, входящая в более сложную человеко-машинную систему.

Прочность деталей и конструкций обеспечивается комплексом физико-механических свойств материала, из которого они изготовлены. Оценка и прогнозирование надёжности деталей должны основываться на исследованиях прочностных свойств материала с учётом влияния формы и размеров деталей, особенностей их изготовления и эксплуатации. Известно⁵, что прочность конструкций обусловлена совместным действием следующих факторов: металлургического (отражающего свойства материала – прочность, коррозионную стойкость, свариваемость, вязкость разрушения и др.), конструктивного (учитывающего особенности формы детали), технологического (учитывающего особенности технологии изготовления), эксплуатационного (отражающего условия эксплуатации).

⁴ Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 2. С. 70–86.

⁵ Махутов Н.А. Разработка критериальной базы для оценки прочности, ресурса, живучести, хладостойкости и безопасности транспортных конструкций // Бюллетень Объединённого учёного совета ОАО «РЖД». 2013. № 3. С. 20–31; Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. № 2. С. 70–86.

Методы исследования конструкционной прочности на основе комплексного подхода позволяют с максимальной полнотой учесть основные параметры, характеризующие состояние металла, технологию изготовления, условия эксплуатации. Наиболее эффективной для этих целей является методология системного подхода. Объект исследования рассматривается как система, состоящая из элементов, характеризующих как внутренние свойства системы, так и условия связи изучаемого объекта с более общей системой (системой более высокого иерархического уровня). В соответствии с этим повреждение материала детали, приводящее к её отказу, факторы, определяющие это повреждение, а также процессы, вызывающие повреждение металла, вместе с системой диагностирования технического состояния и контроля, системой технического обслуживания и ремонтов представляют собой сложную пространственную систему, находящуюся в постоянном движении. Для исследования сложные системы, как правило, подвергаются декомпозиции.

Декомпозиция по признаку структуры – структурная схема системы (рис. 2) показывает, что прочностная надёжность детали определяется физико-механическими свойствами металла, конструкцией детали и условиями её изготовления, внешним эксплуатационным воздействием. В свою очередь свойства металла зависят от химического состава, способа получения заготовки, режима термообработки, структуры металла на различных уровнях и методов определения этих свойств. Вид детали определяется её формой и размерами, а условия изготовления – технологией получения заданной формы, качеством поверхностного слоя. Является важным учёт влияния исправления литейных дефектов на прочность, например, литой детали, оцениваемого следующими факторами: формой шва, объёмом заварки, режимом сварки, термической обработкой. В качестве эксплуатационного воздействия на деталь выделено силовое, температурное и коррозионное влияние.

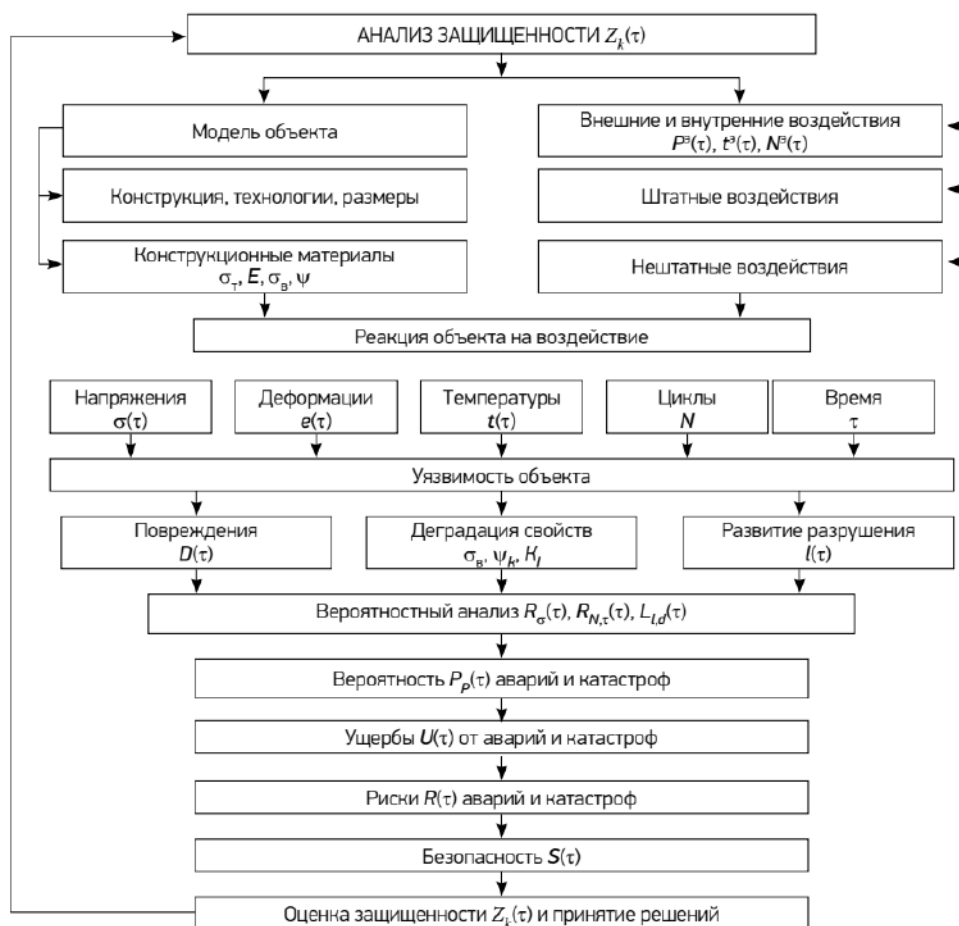


Рис. 1. Алгоритм расчётно-экспериментального определения прочности, ресурса, безопасности и защищённости по критериям рисков⁶

Структурный схема не даёт представления о характере взаимосвязи рассмотренных элементов системы, а также о процессах, приводящих к повреждению металла детали. Эти аспекты рассматриваются в функциональной схеме объекта и дополняющей её хронологической схеме. Функциональная схема объекта показывает, взаимодействием каких элементов обусловлены процессы, приводящие к повреждению металла литой детали, а также вскрывает факторы, влияющие на протекание процесса повреждения. Функциональная схема помогает выбрать для изучения факторы и процессы, имеющие определяющее значение при оценке надёжности детали.

Хронологический схема системы, отражающая жизненный цикл детали, раскрывает факторы, влияющие на прочностную надёжность детали на этапах её проектирования, производства и эксплуатации. Уровень прочностной

⁶ Махутов Н.А., Гаденин М.М., Юдина О.Н. Научный анализ рисков в жизнеобеспечении человека, общества и государства // Проблемы анализа риска. 2019. Т. 16. №2. С. 70–86.

надёжности, закладываемый при проектировании детали, обеспечивается при изготовлении и контроле её качества, а затем реализуется в эксплуатации и поддерживается в условиях принятой системы технического обслуживания и ремонтов. Рассмотренный подход позволяет наиболее полно характеризовать процессы, протекающие в детали, и факторы, определяющие эти процессы, и служат основой для создания моделей при решении следующих вопросов:

- исследование свойств материала деталей и процессов, приводящих к их отказам⁷;
- прогнозирование свойств и поведения детали на различных этапах её функционирования;
- создание математической модели функционирования детали, отражающей отказы различной физической природы⁸;
- принятие решения о способах и периодах ремонта детали⁹;
- осмысление результатов расчёта по разработанным моделям, а также использование этих результатов при проектировании новых и модернизации существующих объектов с применением реновационных технологий¹⁰.

На этапе проектирования конструкций для оценки уровня прочностной надёжности широкое распространение получил коэффициент запаса прочности, определяемый как отношение среднего значения характеристики несущей способности R к среднему значению параметра, отражающего нагруженность детали F , т.е. $n = \bar{R} / \bar{F}$. Коэффициент запаса прочности в такой трактовке прост по смыслу, может быть рассчитан при проектировании и проконтролирован на основе испытаний при производстве изделия. Отказ детали наступает при условии, что случайная величина нагруженности превысит случайную величину несущей способности. Это условие можно записать в виде неравенства $R - F < 0$. Выполнив преобразования, получим условие наступления отказа в виде $F / R > 1$, или $z = \frac{F / \bar{F}}{R / \bar{R}} > n$.

⁷ Tatarintsev V.A., Shlyushenkov A.P. Effect of structural parameters on the fatigue failure of cast steels in loading with low-cycle overloads // Strength of Materials. 1991. Т. 23. № 7.Р. 775–782.

⁸ Татаринцев В.А. Моделирование испытаний на надёжность элементов машин // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: сб. научных трудов XI Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Т.4. Отв. ред. Горохов А.А. 2014. С. 172–176.

⁹ Там же.

¹⁰ Tatarintsev V.A. Microstructure influence on resistance to rupture of low-alloyed steels // The Physics of Metals and Metallography. 1992. № 5. Р. 77–87; Татаринцев В.А., Толстошеев А.К. Продление жизненного цикла литых деталей вагонов путем реновации утраченных свойств // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. 2017. № 6. С. 23–27.

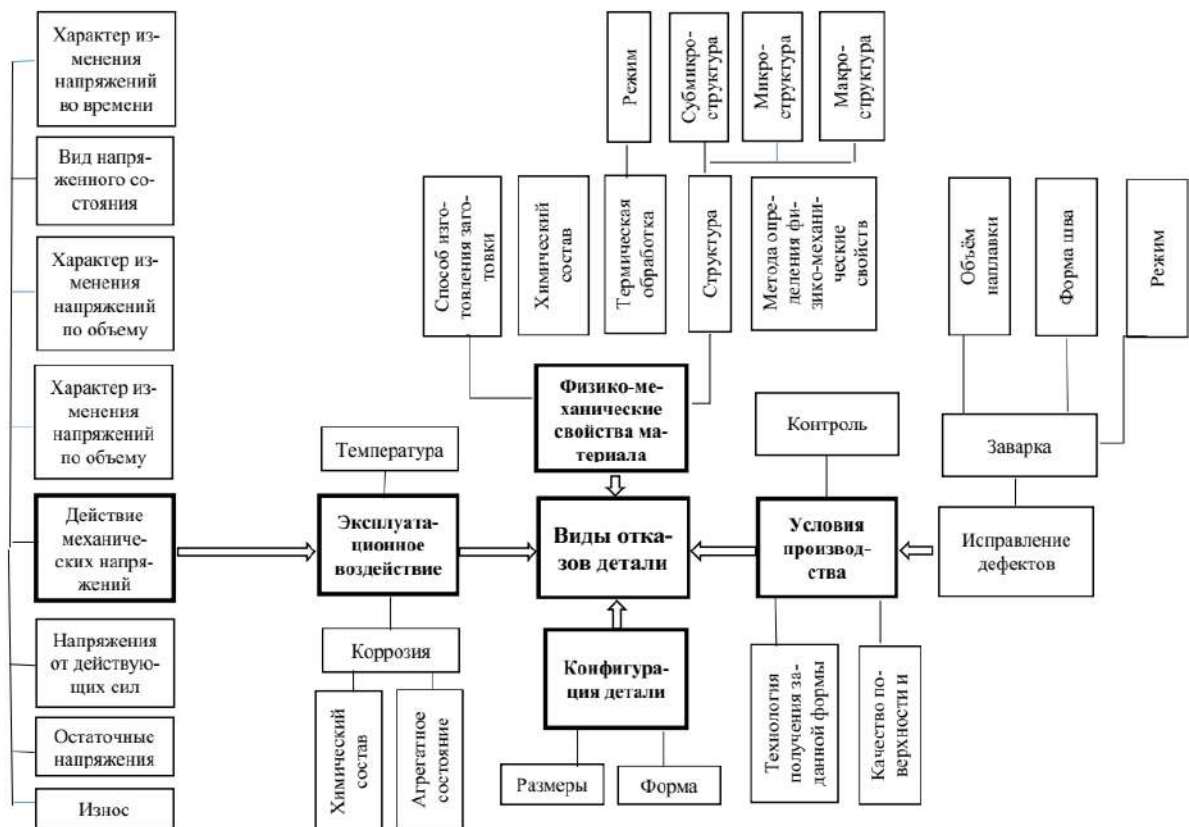


Рис. 2. Структурная схема системы, раскрывающая основные факторы, влияющие на надёжность элемента конструкции

Вероятность случайной величины z определяется значениями вероятностей p_F и p_R . и при условии независимости случайных величин F и R друг от друга оценивается произведением $p_z = p_F \cdot p_R$.

Полученные зависимости позволяют каждому значению коэффициента запаса прочности поставить в соответствие определённую вероятность отказа, т.е. оценить надёжность детали с заданным коэффициентом запаса. Например, если характеристики нагруженности и несущей способности распределены по нормальному закону, то условие отказа имеет вид

$$z = \frac{F / \bar{F}}{R / \bar{R}} = \frac{(\bar{F} + u_{pF} S_F) / \bar{F}}{(\bar{R} + u_{pR} S_R) / \bar{R}} > n, \quad (4)$$

где R , F – соответственно случайные параметры несущей способности и нагруженности детали; \bar{R} , \bar{F} – соответственно средние значения параметров R и F ; S_R , S_F – средние квадратические отклонения случайных величин R и F ; v_R , v_F – коэффициенты вариации случайных величин R и F ; u_{pR} , u_{pF} – квантили

нормированного нормального распределения, соответствующие вероятностям p_R и p_F соответственно.

Вероятность отказа

$$Q = \Phi \left(\frac{1-n}{\sqrt{v_R^2 n + v_F^2}} \right), \quad (5)$$

где $\Phi(\dots)$ – функция нормированного нормального распределения.

Если статистические распределения нагруженности и несущей способности подчинены произвольным закономерностям, не поддающимся описанию по известным законам распределения случайных величин, то можно предложить следующий приближенный численный способ. По известным статистическим распределениям с использованием полученных зависимостей строится статистическое распределение характеристики z . Вероятность отказа определяется как сумма вероятностей значений z ., превышающих коэффициент запаса прочности.

На вероятность отказа детали оказывают влияние величина коэффициента запаса и характеристики рассеяния параметров несущей способности и нагруженности. Обеспечение необходимого уровня этих величин связано с определением экстремума функции, устанавливающей зависимость между параметрами оптимизации и критерием оптимальности. Наличие такой зависимости позволяет производить оценку того, как параметры оптимизации влияют на критерий оптимальности, а также, как можно им управлять с помощью этих параметров. Итак, в качестве параметров оптимизации выбираем коэффициенты запасов прочности по средним значениям для соответствующих предельных состояний при известных характеристиках рассеяния несущей способности и нагруженности. В этом случае запасы прочности однозначно связаны с показателями надёжности по этому предельному состоянию.

Основываясь на результатах имитационного моделирования и экспериментальных исследованиях характеристик сопротивления усталостному и хрупкому разрушению литых сталей, выполнена оптимизация характеристик прочностной надёжности корпуса автосцепки и тягового хомута грузовых вагонов железнодорожного подвижного состава с оценкой вероятностей отказов через соответствующие запасы прочности. Реализация найденных параметров надёжности позволит снизить риски и повысить безопасность и защищённость не только исследованных объектов, но и железнодорожного транспорта в целом.

ВОПРОСЫ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ПРОЦЕССОВ ТРАНСПОРТИРОВКИ КОНТЕЙНЕРОВ НА АВТОПЛАТФОРМАХ

Турпищева М.С. – к.т.н., профессор, ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Климова Е.В. – к.т.н., доцент, ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Арцыбашев А.К. – магистрант, ФГБОУ ВПО «Астраханский государственный технический университет»

Аннотация

Статистика аварийных ситуаций при перевозках контейнеров автомобильным транспортом показывает, что опасность представляет недостаточная надежность узлов крепления контейнеров к автомобильному прицепу. Конструкция узла крепления контейнера должна обеспечить устойчивость к динамическим нагрузкам, возникающим при многократных пусках и торможениях.

При неустановившихся режимах возможно увеличение износа элементов узлов крепления контейнеров к автоплатформе. Частая смена режимов пуска и торможения приводит к циклическому нагружению деталей узла крепления, что снижает его надежность и требует дополнительных исследований динамических свойств системы «автомобильная платформа – контейнер».

На сегодняшний день самым распространенным и эффективным способом транспортировки грузов являются контейнерные перевозки. Они успешно зарекомендовали себя как на международных, так и на внутренних транспортных артериях. Применение контейнеров наиболее эффективно при смешанных перевозках, т. к. значительно сокращается время на перегрузку с одного вида транспорта на другой, груз перевозится с начального до конечного пункта в единой грузовой емкости – контейнере, и к минимуму сводится риск повреждения товара при погрузочно-разгрузочных работах.

Преимуществом контейнера как транспортной тары является его высокая прочность и надежность, что позволяет гарантировать безопасную перевозку разнообразных грузов различными видами транспорта. Типы крупнотоннажных контейнеров универсальны. Наиболее распространенным типом контейнеров в региональных перевозках являются контейнеры типа 1С.

В результате широкого развития контейнерных перевозок в портах изменился весь технологический процесс обработки генеральных грузов. Была создана сложная инфраструктура, обеспечивающая контейнерные перевозки

(терминалы, погрузочно-разгрузочное и складское оборудование и т. д.), появились специализированные суда – контейнеровозы, был создан специальный парк железнодорожных платформ и автомобильных прицепов. Специально оборудованные погрузчики способны в считанные часы загрузить и надежно закрепить в транспортном средстве большую партию контейнеров.

Автомобильные контейнерные перевозки являются одним из перспективных способов сухопутной транспортировки грузов (система «от двери до двери»). Они позволяют обеспечить доставку необходимого груза в труднодоступные точки страны, где нет железнодорожного и судоходного сообщения. Например, на месторождения полезных ископаемых (нефть, газ). Для транспортировки контейнеров используются автомобильные платформы – полуприцепы стандартного типа.

Современный рынок транспортных перевозок предъявляет высокие требования к обеспечению безопасности доставки грузов.

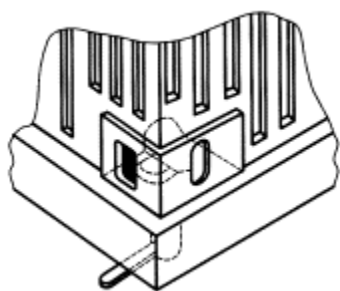
Статистика аварийных ситуаций при перевозках контейнеров автомобильным транспортом показывает, что опасность представляет недостаточная надежность узлов крепления контейнеров к автомобильному прицепу.

При автомобильных перевозках контейнеры подвержены воздействию сил и вибраций, возникающих при пусках и торможениях, при маневрах и поворотах, колебаниях на неровностях дорожного покрытия и от воздействия ветровых нагрузок.

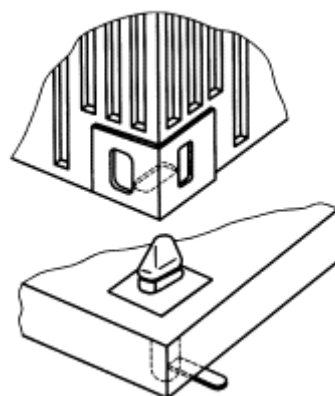
Для того, чтобы не допустить перемещения контейнера на транспортном средстве, предотвратить аварии, связанные с превышением допустимых нагрузок на элементы контейнера и транспортного средства, необходимо обеспечить надежное крепление контейнера к платформе.

Способы крепления контейнеров к транспортному средству должны учитывать факторы и требования, перечисленные в регламентирующих документах¹. Наиболее распространенные — контейнерные стопоры с поворотной головкой, а также штабелирующие универсальные стопорные конусы (рис. 1).

¹ ГОСТ Р 51891 – 2008. Контейнеры грузовые серии 1. Фитинги. Технические условия (ИСО 1161:1984). М.: Стандартинформ. 41с.; ГОСТ Р ISO 3874 – 2008. Контейнеры грузовые серии 1. Перегрузка и крепление. М.: Стандартинформ. 25с.



а) Рукоятка в положении «закрыто»



б) Рукоятка в положении «открыто»

Рис. 1. Стопоры с поворотной головкой на несущей платформе

Конструкция узла крепления контейнера должна обеспечить устойчивость к разнообразным видам динамических нагрузок, возникающих в процессе транспортировки груза. Нижние фитинги контейнера удерживают его от горизонтальных перемещений, т. к. основная прочность контейнера зависит от его нижней рамы.

Вопросы разработки конструкции узла крепления контейнера, способной выдерживать значительные нагрузки в условиях различных маневров автопоезда, а также процессы транспортировки груза по грунтовым дорогам месторождений решались в ряде работ².

Интерес представляет исследование влияния переходных процессов в системе управления перевозками, т. к. маневры автопоезда сопровождаются многократными пусками и торможениями.

Представление автомобиля с контейнером на платформе в виде упрощенной 2х-массовой модели позволяет определить нагрузки, действующие в точках передачи движения – узлах крепления контейнера к раме платформы (рис. 2).

² Транспортная логистика. [Текст] / Под общ. ред. Л.Б. Миротина. / Учебник. 2-е изд., стереотип. М.: Издательство «Экзамен», 2005. 512 с.; Журавлев Н.П., Маликов О.Б. Транспортно-грузовые системы. [Текст] / Учебник для вузов. М.: УМНЦ. 2005. 230 с.

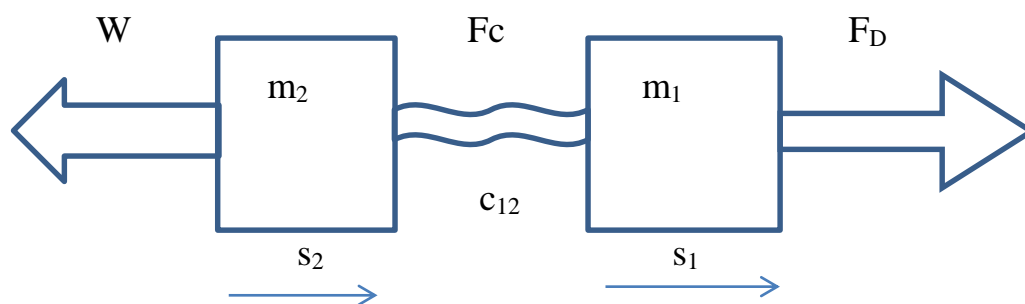


Рис. 2. Схема упрощенной 2х-массовой модели автомобиля с контейнером на платформе, где:

m_1, m_2 – приведенные массы ведущего звена системы и контейнера соответственно; F_D – приведенное тяговое усилие двигателя; W – сила сопротивления со стороны ведомой массы при установившемся движении; s_1, s_2 – перемещения масс m_1, m_2 соответственно; F_c – сила упругости узла связи с жесткостью c_{12} .

Известные зависимости позволяют определять значение максимальных нагрузок в упругом звене при пуске и торможении привода³. Однако режим работы двигателя в условиях эксплуатации автомобиля является неустановившимся, характеризуется частым изменением частоты вращения коленчатого вала и передаваемого крутящего момента. Характер режимов работы двигателя обусловлен назначением автомобиля, климатическими условиями эксплуатации, рельефом местности и качеством дорожных покрытий, индивидуальными особенностями водителя автомобиля, эксплуатационными регулировками двигателя и другими факторами.

Различными исследованиями установлено, что при неустановившемся режиме движения автомобиля частота изменения режимов работы двигателя может достигать 300...500 и более раз на 100 км пути.

При неустановившихся режимах возможно не только увеличение износа деталей двигателей, но и связанных с ним элементов механической системы. В частности, узлов крепления контейнеров к автоплатформе.

При определенных маневрах автомобиля частая смена режимов пуска и торможения приводит к циклическому нагружению элементов узла крепления

³ Вержбицкий В.М. Основы численных методов. [Текст] / Учебник для вузов. М.: Высшая школа, 2002. 840 с.

контейнера, что снижает его надежность и требует дополнительных исследований динамических свойств системы «платформа автомобиля – контейнер» и корректировки модели с целью повышения надежности и безопасности процесса транспортировки контейнеров.

РЕГУЛИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ УДАРНЫХ ИМПУЛЬСОВ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ МОДУЛЕЙ ТРАНСПОРТНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Штрекер Д.С. – аспирант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Логинова Д.В. – магистрант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Волков В.А. – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Барский И.В. – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: Дьяченко В.А. – д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация

В статье представлена возможность регулирования параметров испытаний на одиночный удар для различных форм транспортной промышленности. Представлены требования к характеристикам одиночного удара для модулей автомобильной, авиационной и аэрокосмической промышленности. Представлено устройство, позволяющее регулировать амплитуду и длительность ударного импульса. Представлена зависимость силы упругости формообразующего устройства от деформации для различных вариантов проведения ударных испытаний. Сделаны выводы о возможности регулирования параметров ударных испытаний, представлены методические рекомендации по воспроизведению ударных импульсов с требуемыми параметрами.

Испытания на воздействие одиночного удара применяются для различных форм транспортной промышленности – автомобильной, авиационной, аэрокосмической. В ходе эксплуатации многие узлы и модули транспортного оборудования должны выдерживать удары определенных параметров. Так, полупроводниковые приборы в автомобилях должны выдерживать одиночные

удары полусинусоидальной формы амплитудой 1500 g и длительностью 1-2 мс¹; аппаратура надводных кораблей, устанавливаемая на двигателях корабля – удары амплитудой 3000 g и длительностью 1,5-2,5 мс²; монтажные кабели для авиационной техники – удары амплитудой 1000 g и длительностью 1-3 мс³.

Подобные испытания проводятся на специальном оборудовании – ударных машинах. На практике длительность и форма импульсов реализуются путем подбора специальных формователей, устанавливаемых между наковальней и ударным столом машины, а пиковое значение ускорения – скоростью стола в момент его соударения с формователем импульса⁴. Пример ударной машины PDST-Series компании SHINYEI⁵, представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Ударная машина SHINYEI PDST-Series

Непосредственно ударный импульс, характеристики которого и представлены в стандартах, реализуется в момент удара стола о формообразующее устройство (формователь). Требуемую для испытаний транспортной промышленности полусинусоидальную форму импульса возможно получить, используя формователи из гиперупругого материала. В известных на сегодняшний день научных публикациях для получения широкого диапазона ударных импульсов предлагается использовать формователи,

¹ ГОСТ 11630-84. Приборы полупроводниковые. Общие технические условия

² ГОСТ РВ 20.39.304-98 Аппаратура, приборы, устройства и оборудование военного назначения. Требования стойкости к внешним воздействующим факторам

³ ГОСТ 10348-80 Кабели монтажные многожильные с пластмассовой изоляцией. Технические условия

⁴ Попов А.Н., Полищук М.Н., Тимофеев А.Н. Испытательные машины. Екатеринбург: Изд-во «Уральский рабочий». 2017. 217 с.

⁵ Технические характеристики испытательного стенда SHINYEI PDST Series Shock Tower / SHINYEI-TMCOM [Электронный ресурс]. URL: https://shinyei-tm.com/product_ST_PDST.html (Дата обращения 25.01.2021 г.)

которые отличаются геометрическими параметрами⁶ и материалом⁷. В данной статье предлагается регулировать параметры ударных импульсов за счет искусственного ограничения боковой деформации формирователя при ударе и, тем самым, изменения его «рабочей» высоты.

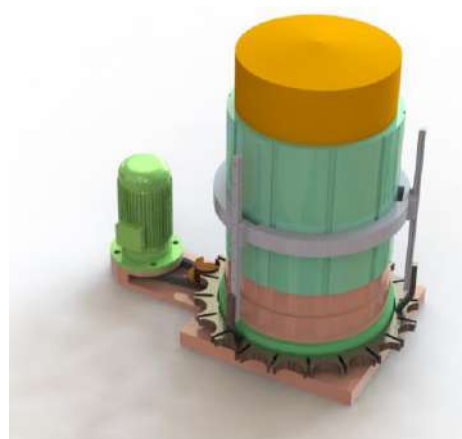
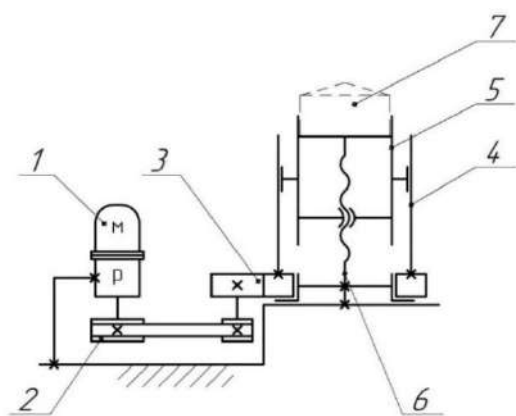
Целью данной статьи является исследование возможности регулирования параметров ударных импульсов за счёт ограничения боковой деформации формирователя при ударе и разработка компьютерной модели «стол-формирователь», позволяющей «предсказывать» параметры испытаний при помощи средств ANSYS Workbench.

Регулирование амплитуды и длительности ударного импульса возможно при помощи ограничения деформации формирователя в момент удара⁸. В ударных машинах SHINYEI PDST-Series формирователь ограничивается при помощи специального приспособления, высота которого регулируется оператором вручную. Сотрудниками высшей школы автоматизации и робототехники ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого» была разработана концепция устройства, позволяющая автоматизировать данный процесс. Устройство представлено на рисунке 2.

⁶ Штрекер Д.С., Полищук М.Н., Куанышова А.А., Дьяченко В.А. Влияние высоты формирователя на параметры ударного импульса / Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 225-229.

⁷ Полищук М.Н., Пуленец Н.Е., Штрекер Д.С. Исследование формирователей ударного импульса // Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. 2018. С. 27-30.

⁸ J. Wen, Ch. Liu, H. Yao, B. Wu. A nonlinear dynamic model and parameters identification method for predicting the shock pulse of rubber waveform generator, International Journal of Impact Engineering, 120 (2018) P. 1–15



а)

б)

Рис. 2. Устройство для регулирования боковой деформации формирователей ударных импульсов: а) кинематическая схема устройства; б) 3D-модель устройства

Устройство приводится в движение электродвигателем 1 через ременную передачу 2 и последующим мальтийским механизмом 3, который обеспечивает поворот и фиксацию барабана 5. Мальтийское колесо соединяется с барабаном с помощью вертикальных линейных направляющих 4. Вертикальное перемещение барабана 7 происходит за счёт преобразования вращательного движения мальтийского механизма в поступательное посредством передачи «винт-гайка», где гайкой выступает сам барабан, а винтом – опора 6 формирователя 7.

Процесс деформации формирователя моделируется при помощи средств ANSYS Workbench⁹. Для корректного выполнения моделирования необходимо экспериментально определить зависимость статической характеристики деформации материала формирователя от приложенной при его сжатии нагрузки. Подобная характеристика была получена на прессе А.Г. Гагарина для образца простой цилиндрической формы в лабораториях ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого»¹⁰. Зависимость, полученная экспериментальным путем на прессе, представлена на рисунке 3.

⁹ Полищук М.Н., Штрекер Д.С. Компьютерное моделирование формирователя ударных импульсов / Неделя науки / Материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург.: СПбПУ. В 2-х частях. 2020. С. 9-12.

¹⁰ Попов А.Н., Полищук М.Н., Пуленец Н.Е. Моделирование импульса при ударных испытаниях // Современное машиностроение. Наука и образование. 2019. № 8. С. 513–526.

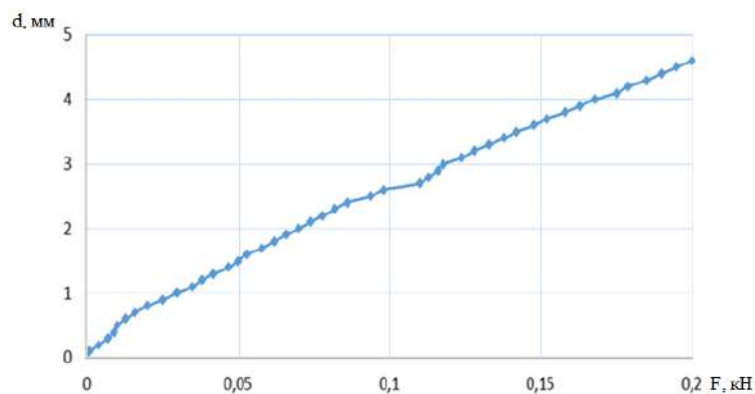


Рис. 3. Зависимость статической характеристики деформации материала формователя d от приложенной при его сжатии нагрузки F

Используя данную зависимость возможно смоделировать процесс соударения ударного стола с формователем. Параметры испытания, представленные в модели:

- высота сброса стола – 0,25 м;
- масса стола – 431 кг;
- диаметр формователя – 150 мм;
- высота формователя – 400 мм.

Моделирование проводится для двух случаев – при ограничении формователя ударного импульса сбоку трубой высотой 350 мм и без него. Деформированное состояние формователя для двух вариантов показано на рисунке 4.

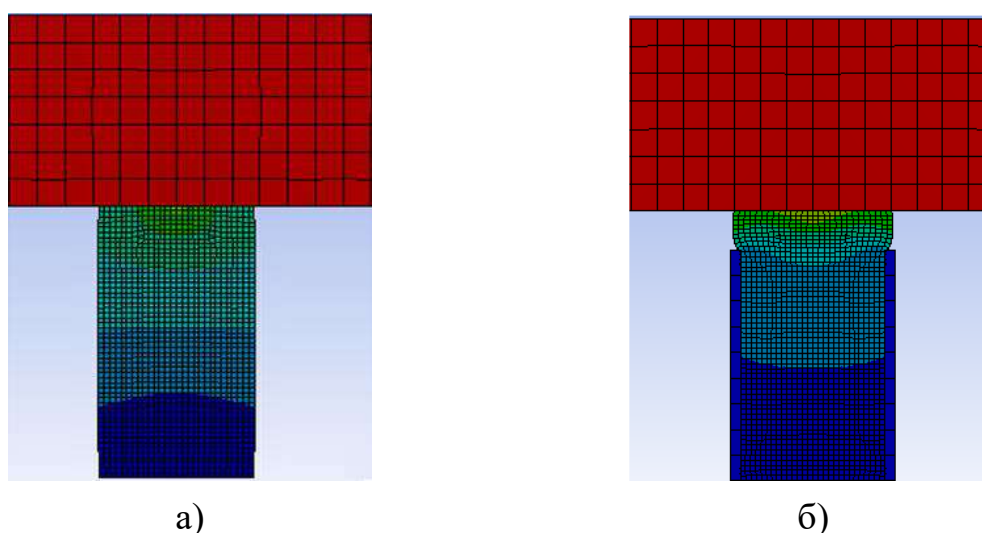


Рис.4. Деформированное состояние формователя: а) без бокового ограничения формователя; б) с ограничением формователя трубой высотой 350 мм

Из результатов моделирования можно заметить отличия деформированных состояний формователя при наличии ограничивающего приспособления и без него. Подобное отличие находит своё отражение в зависимости силы упругости материала формователя от деформации. Графики подобных зависимостей представлены на рисунке 5.

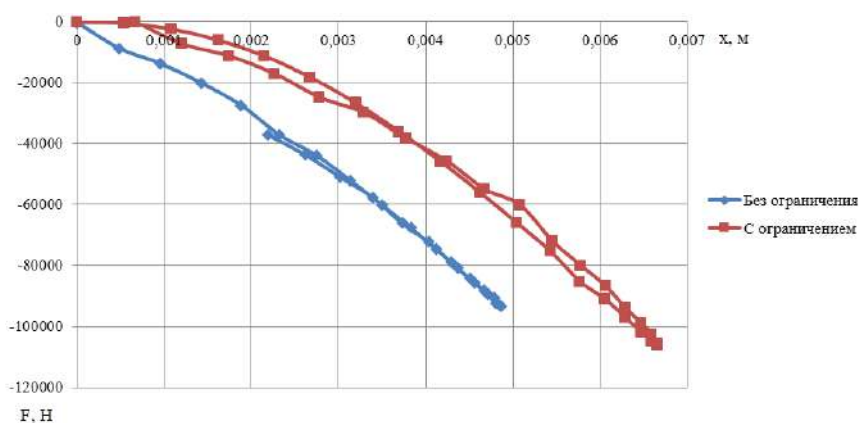


Рис. 5. Зависимости силы упругости материала формователя от деформации

Для дальнейшего использования данных зависимостей, их необходимо аппроксимировать. Наилучшую точность даёт аппроксимация полиномами третьего порядка¹¹. Варианту без ограничения боковой поверхности формователя соответствует зависимость $F(x) = -7 \cdot 10^{10} x^3 - 9 \cdot 10^8 x^2 - 10^7 x - 866$; Варианту с ограничением трубой 350 мм: $F(x) = 3 \cdot 10^{10} x^3 - 2 \cdot 10^9 x^2 - 2 \cdot 10^6 x + 712$.

Возможность подобного варьирования данной зависимости позволяет изменять амплитуду и длительность ударных импульсов при помощи регулирования высоты устройства. Регулирование возможно производить на основе имитационной модели динамики удара, представленной в статье¹²:

$$m\ddot{x} = -F(x), \quad x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = v_0, \quad (1)$$

где m – масса объекта,

v_0 – начальная скорость при соударении,

$F(x)$ – характеристики силы упругости формователя.

¹¹ Попов А.Н., Полищук М.Н., Васильев А.К. Выбор формователя для получения ударного импульса требуемой длительности. Научный форум с международным участием "Неделя науки СПбПУ". Институт металлургии, машиностроения и транспорта СПбПУ. СПб.2016. С. 21-24

¹² Попов А.Н., Полищук М.Н., Пуленец Н.Е. Определение характеристики силы упругости формователя ударных импульсов / Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург. 2018. С. 3-6.

На рисунке 6 для иллюстрации указанного подхода приведены результаты моделирования в программной среде Matlab Simulink для формирователей с одинаковыми параметрами, отличающимися лишь наличием или отсутствием устройства, ограничивающего боковую деформацию формирователя при ударе.

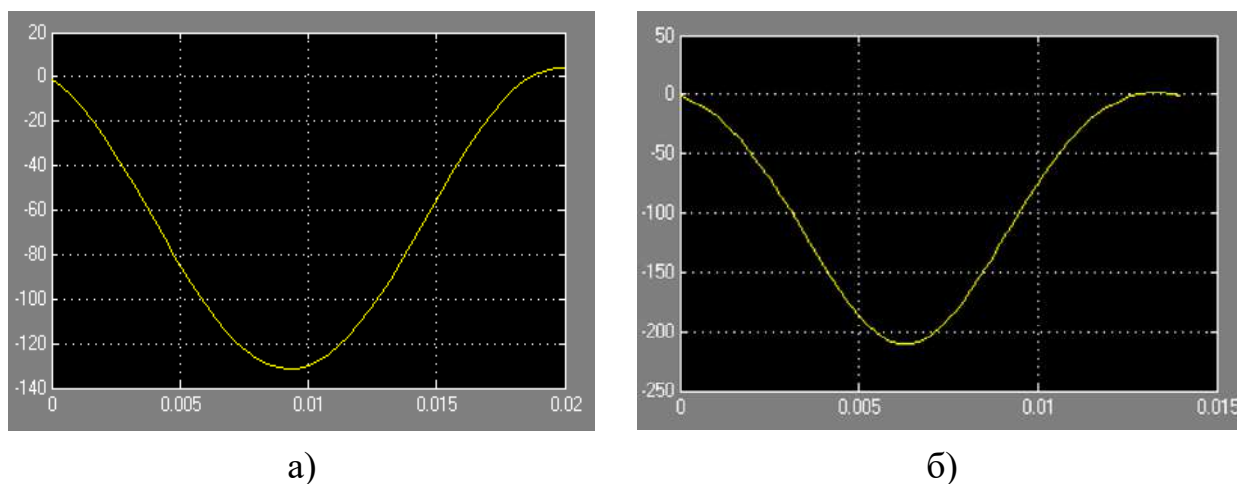


Рис. 6. Ударные импульсы: а) без бокового ограничения формирователя; б) с ограничением формирователя трубой высотой 350 мм

Таким образом, возможно регулирование параметров ударного импульса для испытаний различных модулей транспортной промышленности за счёт изменения «рабочей» высоты формирователя. Использование устройства для ограничения боковой деформации формирователя позволяет значительно изменять амплитуду и длительность ударных импульсов. Так, при ограничении формирователя трубой высотой 350 мм амплитуда увеличивается на 38% (210g против 130g при «свободном» положении формирователя), длительность же уменьшается на 29% (12 мс против 17 мс при «свободном» положении формирователя).

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНЫХ НАГРУЗОК, ВОЗНИКАЮЩИХ ПРИ ПЕРЕМЕЩЕНИИ ОБЪЕКТОВ НА НАЗЕМНОМ ТРАНСПОРТЕ

Штрекер Д.С. – аспирант, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Калымбеков Ш. – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Ларичкин Д.А. – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Петров Д.А. – студент, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: Дьяченко В.А. – д.т.н., профессор, ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Аннотация

В статье проведено моделирование ударных нагрузок, которые возникают в процессе перемещения различных объектов при помощи наземного транспорта. Моделирование проведено на лабораторной ударной машине, разработанной сотрудниками ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого». Приведены требования к параметрам ударных импульсов, возникающих при перевозке объектов на колесном транспорте (по автомобильным и железным дорогам). Представлены рекомендации для воспроизведения ударных импульсов полусинусоидальной формы с требуемыми параметрами (амплитудой и длительностью).

Транспортирование объектов при помощи железнодорожного или автомобильного транспорта является важной частью мировых коммуникаций. Во время перевозки объекты подвергаются многократному ударному воздействию. Это могут быть удары как вследствие неровности дорог для автомобилей, так и из-за наличия стыков рельс для железнодорожных составов. В зависимости от устройства наземного транспорта также может возникать различная тряска. Для того, чтобы объекты во время транспортировки сохранили свои эксплуатационные характеристики над тарой, в которой их перевозят, или непосредственно над сами объектами необходимо проводить испытания на многократный удар¹. Аппаратура, которая может транспортироваться незакрепленной при помощи колесного транспорта (по автомобильной или железной дороге), должна выдерживать определенное количество ударов

¹ Попов А.Н., Полищук М.Н., Тимофеев А.Н. Испытательные машины. Екатеринбург: Изд-во «Уральский рабочий». 2017. 217 с.

различных пиковых значений и длительностей, указанных в соответствующем стандарте². Подобные испытания проводятся на специальных стендах, которые позволяют синтезировать ударные нагрузки в лабораторных условиях.

Целью данной статьи является экспериментальное моделирование многократных ударных нагрузок и выявление зависимостей характеристик ударного импульса от параметров эксперимента.

Для проведения исследований подобного рода сотрудниками высшей школы автоматизации и робототехники ФГАОУ ВО «СПбПУ Петра Великого» был разработан стенд для проведения многократных ударных испытаний на многократный удар³. Стенд предназначен для проведения ударных испытаний при малых массах стола (до 18,6 кг.) а также служит для проверки некоторых конструктивных решений, которые впоследствии могут быть применены на ударных машинах большего размера. Стенд представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Стенд для проведения испытаний на многократный удар

Источник сжатого воздуха стенда включает компрессор низкого давления, ресивер для обеспечения требуемого расхода и фильтр для очистки воздуха перед его поступлением в пневматическую сеть. Блок подготовки воздуха обеспечивает регулировку давления воздуха и его фильтрацию перед

² ГОСТ 28215-89. Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Е6 и руководство: Многократные удары

³ Решетов Д.В., Попов А.Н. Макет стенда для ударных испытаний / Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. Санкт-Петербург.: 2018. С. 33-36.

поступлением в пневматический подвес, состоящий из четырех пневмоцилиндров. Пятый пневмоцилиндр обеспечивает перемещение ударного стола в вертикальном направлении. При подаче воздуха в штоковую полость исполнительного пневмоцилиндра, ударный стол поднимается в крайнее верхнее положение. При переключении пневмораспределителя, ударный стол, под действием силы тяжести, падает на формирователь ударного импульса, который закреплен на наковальне. Накováльня жестко соединена с основанием. Энкодер, жестко закрепленный на ударном столе, посылает сигнал с информацией о высоте подъема ударного стола относительно основания в стойку управления. Кроме того, на ударном столе закреплен акселерометр, который регистрирует импульс ускорения в момент удара стола о формирователь. В состав стенда также входит комплект упругих формирователей ударного импульса различной жесткости, при помощи которых формируется ударный импульс полусинусоидальной формы. Комплект формирователей ударного импульса представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Комплект формирователей ударного импульса

Важнейшими характеристиками ударных машин являются форма, длительность и пиковое значение воспроизводимых импульсов ускорения⁴. Изучение кинематики удара нужно для выбора как формирователя импульса, так и типа ударной испытательной ударной машины, с помощью которых возможно реализовать необходимые требования к удару⁵.

Так, в соответствии со стандартами, при транспортировании различными видами транспорта тара электронной техники должна выдерживать многократные ударные импульсы амплитудой до 500g и длительностью не более

⁴ Yang T H, Lee Y S, Yeon K W, Kim H M, Kim J Y and Kwon H B 2016 Estimation of the saw-tooth shock wave using a lead shock programmer JMST 30 2133-2140

⁵ Wen J, Liu Ch, Yao H and Wu B 2018 A nonlinear dynamic model and parameters identification method for predicting the shock pulse of rubber waveform generator International Journal of Impact Engineering.2018. N. 120. P. 1–15

15 мс⁶; средства вычислительной техники - импульсы амплитудой до 200g и длительностью не более 20 мс⁷; электротехнические изделия - импульсы амплитудой до 1500g и длительностью не более 10 мс⁸.

Получить ударные импульсы с подобными характеристиками возможно при помощи лабораторной машины, представленной ранее. Основными варьируемыми параметрами эксперимента является высота сброса и масса стола, а также жесткость формирователей ударных импульсов, которые маркируются различными цветами⁹. Цвет формирователей соотнесен с определенной твердостью по Шору по шкале А и соответствует следующим значениям:

- желтый цвет – твердость по Шору 80А, динамическая нагрузка 9000 кгс;
- синий цвет – твердость по Шору 70А, динамическая нагрузка 8000 кгс;
- красный цвет – твердость по Шору 65А, динамическая нагрузка 7000 кгс.

Моделированию ударных импульсов при помощи гиперупругих формирователей посвящено множество научных публикаций. Отдельно подчеркивается нелинейность характеристики жесткости гиперупругих материалов формирователей¹⁰, вследствие которой возникает значительное отличие между теоретическими и экспериментальными данными. Поэтому наиболее надежным способом предсказания параметров ударного импульса при многократных ударах является экспериментальное моделирование ударных испытаний.

Результаты экспериментальных исследований при использовании трёх формирователей различных цветов представлены на рисунке 3.

⁶ ГОСТ 23088-80 Изделия электронной техники. Требования к упаковке, транспортированию и методы испытаний

⁷ ГОСТ 21552-84 Средства вычислительной техники. Общие технические требования, приемка, методы испытаний, маркировка, упаковка, транспортирование и хранение

⁸ ГОСТ 17516.1-90 Изделия электротехнические Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам

⁹ Штрекер Д.С., Полищук М.Н., Куанышова А.А., Дьяченко В.А. Влияние высоты формирователя на параметры ударного импульса / Машиностроение: новые концепции и технологии. Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск, 2020. С. 225-229.

¹⁰ Полищук М.Н., Штрекер Д.С. Компьютерное моделирование формирователя ударных импульсов / Неделя науки СПбПУ. Материалы научной конференции с международным участием. В 2-х частях. 2020. С. 9-12

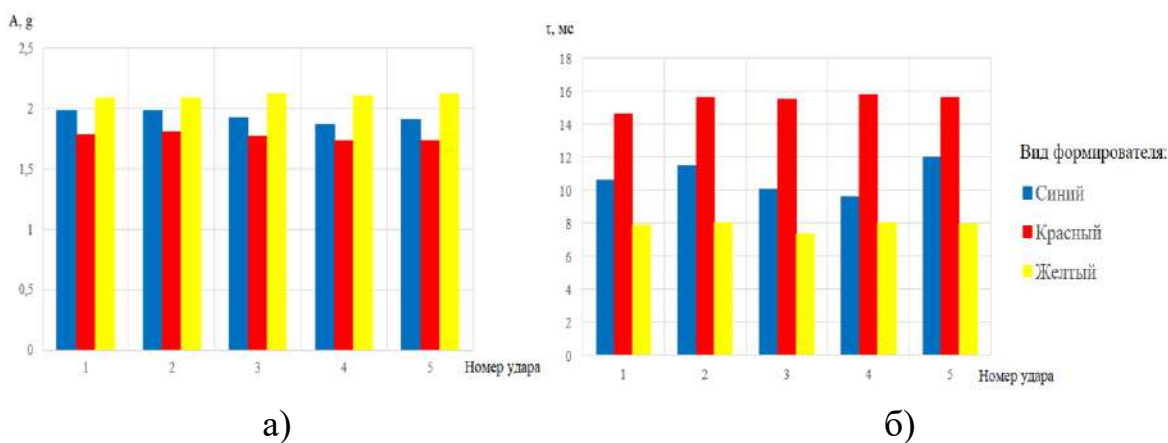


Рис. 3. Параметры ударного импульса при пяти повторяющихся ударах:
а) амплитуда импульса A ; б) длительность импульса τ

На рисунке показаны результаты экспериментов при сбросе стола массой 8,6 кг с высоты 20 мм на формирователи различных жесткостей. Можно заметить, что амплитуда и длительность ударных импульсов при поведении многократных испытаний практически не изменяются, характеристики колеблются на уровне 10%, что может говорить о хорошей повторяемости ударов и высоком качестве лабораторной машины.

Графики зависимостей амплитуды A и длительности τ импульса от высоты сброса стола h представлены на рисунке 4.

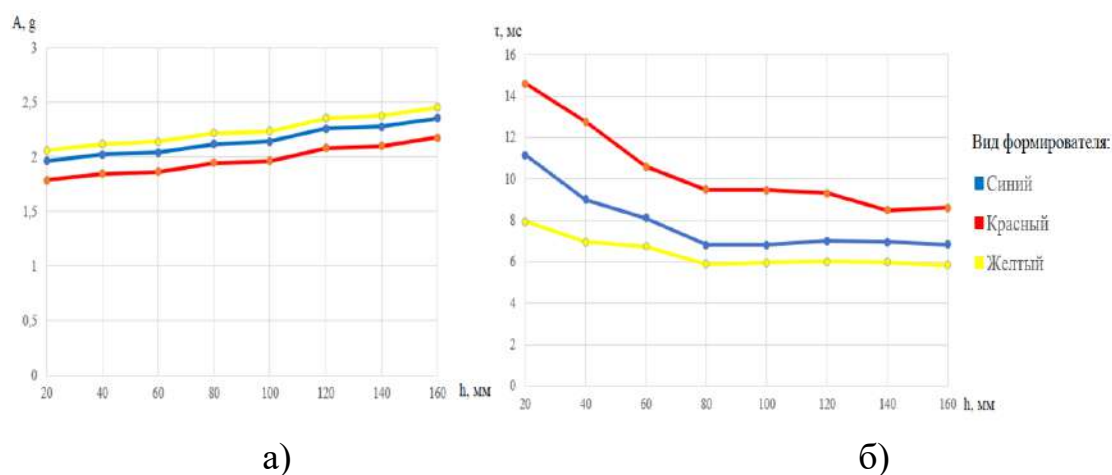


Рис. 4. Графики зависимостей параметров ударного импульса от высоты сброса стола: а) $A(h)$; б) $\tau(h)$

Эксперименты показывают, что при увеличении высоты сброса амплитуда импульса увеличивается, а длительность уменьшается. Изменение высоты

сброса на 140 мм позволяет увеличить амплитуду на 2-3g, длительность при этом уменьшается на 2 мс. Каждая из зависимостей может быть аппроксимирована, что позволит делать предположения о параметрах моделирования для воспроизведения импульсов определенных параметров. Например, зависимость амплитуды от высоты сброса для красного формователя (твердость 65А по Шору, динамическая нагрузка 7000 кгс), может быть аппроксимирована полиномом третьего порядка $A(h) = -0,0002x^3 + 0,0053x^2 + 0,0252x + 1,7626$. Зависимость длительности от высоты сброса для красного формователя может быть аппроксимирована уравнением $\tau(h) = -0,029x^3 + 0,565x^2 - 3,865x + 18$.

Графики зависимостей амплитуды A и длительности τ импульса от массы стола m представлены на рисунке 5.

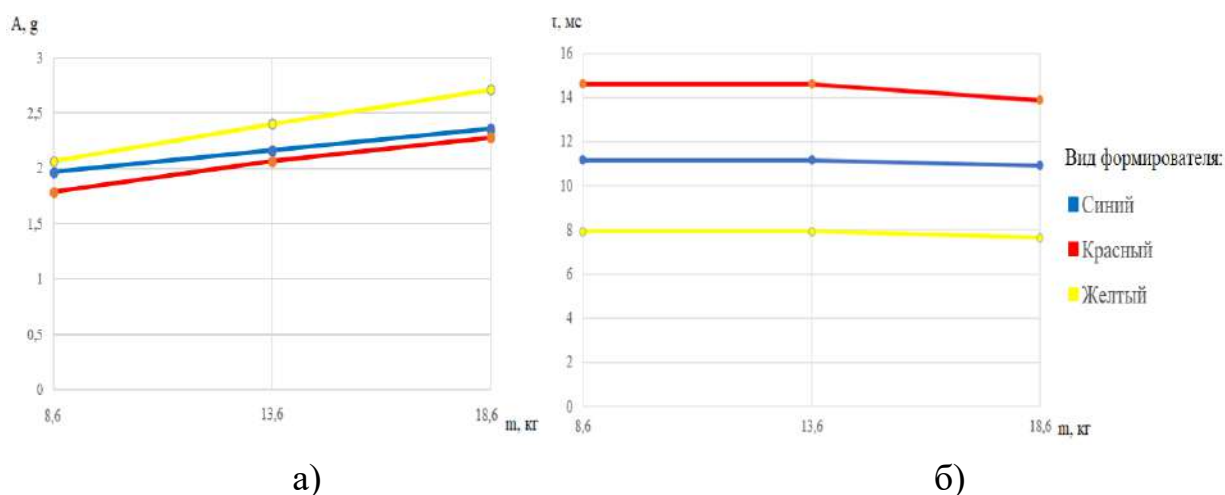


Рис. 5. Графики зависимости параметров ударного импульса от массы стола:
а) $A(m)$; б) $\tau(m)$

Увеличение массы ударного стола вызывает увеличение амплитуды и уменьшение длительности ударных импульсов. Зависимости параметров ударного импульса для формователя красного цвета могут быть аппроксимированы уравнениями: $A(m) = 0,2456x + 1,5521$; $\tau(h) = -0,36x + 15,08$.

В результате работы были выявлены основные зависимости ударных импульсов от различных параметров эксперимента. Полученные результаты позволяют сделать выводы о возможности варьирования параметров удара путем изменения высоты сброса и массы стола, что будет использовано в дальнейших исследованиях.

АКТУАЛЬНЫЕ ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ И ИХ РЕШЕНИЯ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И ЭЛЕКТРОТЕХНИКЕ

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ТЕПЛОВЫМИ ПРОЦЕССАМИ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ АПК

Афонькина В.А. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Ткачёв А.Н. – к.т.н, доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Рычкова Н.М. – старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Кривошеева Е.И. – старший преподаватель, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

Рассмотрены методологические основы автоматического управления объектами с взаимосвязанными величинами, с учетом специфики и основных особенностей задач управления для агропромышленного комплекса. На основе проведенного анализа предложены способы изменения идеологии проектирования САУ за счет совершенствования методов управления, позволяющих повысить качество регулирования. В качестве примера рассмотрены процессы сушки термолабильного сырья.

Основная масса технологических систем – это совокупность взаимосвязанных материальными и энергетическими потоками технологических объектов с взаимосвязанными параметрами сырьевых потоков и технологических регламентов. Физические перемещения потоков сопровождаются следующими тепловыми процессами: тепловыделением, теплообменом, теплопередачей. Самым энергозатратным примером теплового объекта переработки сельскохозяйственного сырья являются сушильные установки и печи. Как правило, данные объекты входят в состав автоматизированных технологических установок большой мощности, и их не

эффективная работа может приводить к значительным издержкам производства продукции пищевой промышленности и ухудшению ее качества¹.

К основным вопросам управления технологиями тепловой обработки сельскохозяйственного сырья относятся: управление жизненным циклом продукта и ассортиментом продукции, а так же управление качеством выпускаемой продукции.

Технологию необходимо рассматривать как средство создания и поддержания конкурентного преимущества, которым нужно адаптивно и грамотно управлять на всех этапах производства качественных продуктов питания, которые способны увеличить конкурентоспособность сельскохозяйственного производства.

Одно из перспективных направлений решения этой важнейшей задачи – это автоматизация контроля и управления технологическими процессами сушки сельскохозяйственного сырья с применением современных технических средств автоматизации.

Наиболее распространённым методом сушки на сегодняшний день является конвективная сушка. Обладая высокой инерционностью системы контроля процессов обезвоживания данным методом, как правило, реализованы на локальных средствах автоматизации, алгоритмы в которых сформированы с точки зрения управления температурой сушильного агента, параметры которого либо не изменяются, либо изменяются со значительными ошибками и большими временными запаздываниями. Это не позволяет объективно и оперативно оценивать состояние процессов, что, в конечном счете, ухудшает качество управления ими из-за нарастающей ошибки управления².

Из анализа практического опыта можно сделать вывод, что в современных условиях постоянного усложнения современных средств автоматизации, роста числа и требований к диапазонам измеряемых параметров контролируемых технологических процессов, повышения требований к точности измерений, быстрдействию систем и возможности обработки больших массивов данных по величине входных, выходных и возмущающих воздействий, перспективными способами автоматизации технологических процессов в условиях

1 Саиф М.Н.М., Матвейкин В.Г., Дмитриевский Б.С., Башкатова А.В., Мамонтов А.А. Управление объектами с взаимосвязанными величинами // Вестник Тамбовского государственного технического университета. 2019. Т. 25. № 2. С. 206-218.

2 Манасян С.К., Цугленок В.Н., Манасян Г.С., Куликов Н.Н. Автоматизация технологического процесса сушки зерна. // Вестник КрасГАУ. 2011. № 1 (52). С. 149-152.

сельскохозяйственного производства являются разработка адаптивных систем автоматического управления на основе измерительно-вычислительных комплексов и внедрение в них SCADA-систем³.

Процессы управление технологиями переработки сельскохозяйственного сырья с применением тепловых воздействий не являются исключением. О качестве продуктов с.-х. производства судят обычно по их химическому и физическому составу, а так же по некоторым технологическим свойствам, на которые не редко температура ведения технологического процесса оказывает прямое воздействие, и не всегда положительное. Таким образом, точные методы измерения состава и свойств сельскохозяйственного сырья, основанные на непосредственных измерениях, требуют создания сложных, многофакторных алгоритмов и систем управления, но при этом вполне оправданы, так как производительность при сохранении качества и полезности свежего сырья не просто маркетинговый ход, но и залог продовольственной безопасности страны в целом.

Общий недостаток существующих методов – низкая точность измерения, вызванная наличием как аддитивных и мультипликативных, так и внутренних помех, возникающих в первую очередь из-за отсутствия зачастую в технологических регламентах процессов термической обработки сельскохозяйственного сырья адаптивности управления по целевым компонентам. Эти помехи в свою очередь становятся основой систематических и случайных погрешностей измерений, а далее и ошибками управления. Систематические погрешности, как правило, связаны с тем, что измеренное значение физической величины Y является функцией не только управляемой величины X , но и ряда других величин Z , W и т. д.

Для уменьшения либо устранения влияния данных величин необходимо:

- создавать системы автоматического управления и стабилизации изменяющихся условий;
- повышать точность стабилизации;
- в процессе проектирования САУ экспериментально устанавливать влияние факторов Z , W и т.д., измерять их доступными методами и средствами

³ Орешина М., Сафронова Ю. Инновационные технологии в АПК на основе внедрения SCADA-систем, полученный экономический эффект // Международный сельскохозяйственный журнал. 2014. № 6. С. 39-41.

и вносить соответствующие поправки в алгоритмы управления или техническое оснащение систем;

– выявить раздельное влияние факторов X , Z , W на управляемую величину Y , что позволит получить детальную информацию о сельскохозяйственном сырье.

В отличие от управляющих воздействий, наблюдаемых в процессе по средствам обратных связей, и выходных, которых устанавливаются на стадии формирования исходной задачи управления, определение координат промежуточных и возмущающих воздействий проводится на стадии составления структурной схемы и во многом является отражением понимания существа технологического процесса. Именно поэтому структурная схема является обязательной частью проектирования систем управления и регулирования и уточнять её необходимо по мере увеличения знаний об объекте управления. А если говорить о процессах сушки в различных технологиях переработки сельскохозяйственного сырья, это должно стать аксиомой, т. к. на сегодняшний день сушилки как объекты управления изучены недостаточно.

Не стационарность коэффициентов, изменение объема, структуры и массы высушиваемого объекта, отсутствие достоверных сконцентрированных данных о кинетике сушки и экспериментальных данных о динамических свойствах сушильных аппаратов накладывает отпечаток на крайне медленное развитие и внедрение адаптивных систем автоматического управления в процессы переработки сельскохозяйственного сырья.

Решение данной проблемы на сегодняшний день возможно лишь объединением результатов аналитического и экспериментального методов построения систем управления. А именно:

– поиск решения общих уравнений процесса обезвоживания для конкретного способа сушки с определением краевых условий, соответствующих типу аппарата;

– определение экспериментальным путем коэффициентов уравнений или зависимостей этих коэффициентов от физико-химических свойств высушиваемого сырья, методов и средств сушки;

– поиск решения уравнения кинетики сушки, определяющего показатель скорости сушки для заданных начальных условий (исследуемый материал и сушилки);

– составление структурно-функциональных схем объекта управления с аппроксимацией сушилки одним или несколькими типовыми звеньями, с определением частотных характеристик и качества регулирования.

Всё выше сказанное позволит в результате получить полную математическую модель автоматизируемой сушилки вполне пригодную для анализа работы объекта, составления алгоритмов функционирования, синтеза и анализа системы в целом.

СОЗДАНИЕ АВАРИЙНОГО РЕЗЕРВА ЗАПАСНЫХ ЧАСТЕЙ РАЙОНОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ИСХОДЯ ИЗ ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ЗАПАСАМИ

Буторин В.А. – д.т.н, профессор, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Царев И.Б. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»; ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Ткачёв А.Н.– к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Хитев С.А. – студент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

На сегодняшний день все большую актуальность приобретает созданию резерва запасных частей на основе теории управления запасами, которая исходит из экономической оптимальности системы закупок, доставки, хранения запасных частей и ликвидации последствий возможной их недостаточности. Предметом теории управления запасами является определение момента восполнения запаса и объема поставок, а также отыскание и минимизация функции затрат на создание резерва. В статье рассмотрено создание аварийного резерва запасных частей на примере Кетовского сетевого района ОАО «КурганЭнерго», для воздушной линии 10 кВ.

Резерв запасных частей необходим для обеспечения бесперебойного функционирования электроремонтных и обслуживающих предприятий¹. На современных предприятиях указанный резерв характеризуется большим

¹ Буторин В.А., Царев И.Б., Гусейнов Р.Т. Оценка ресурса упорного подшипникового узла погружного электродвигателя // АПК России. 2017. Т. 24. № 5. С. 1152 – 1156

количеством номенклатур и большой величиной запаса². В этой связи возникает вопрос об оптимизации резерва запасных частей и в частности о выборе оптимальной стратегии управления им³.

Под стратегией управления понимают совокупность правил, согласно которым определяется момент восполнения запаса и величина его поставок. Для предприятий по ремонту и обслуживанию электрооборудования стратегии управления запасными частями выбираются из четырех простейших, оптимальность которых доказана практикой для широкого круга ситуаций⁴. Классификация этих стратегий представлена на рис. 1.

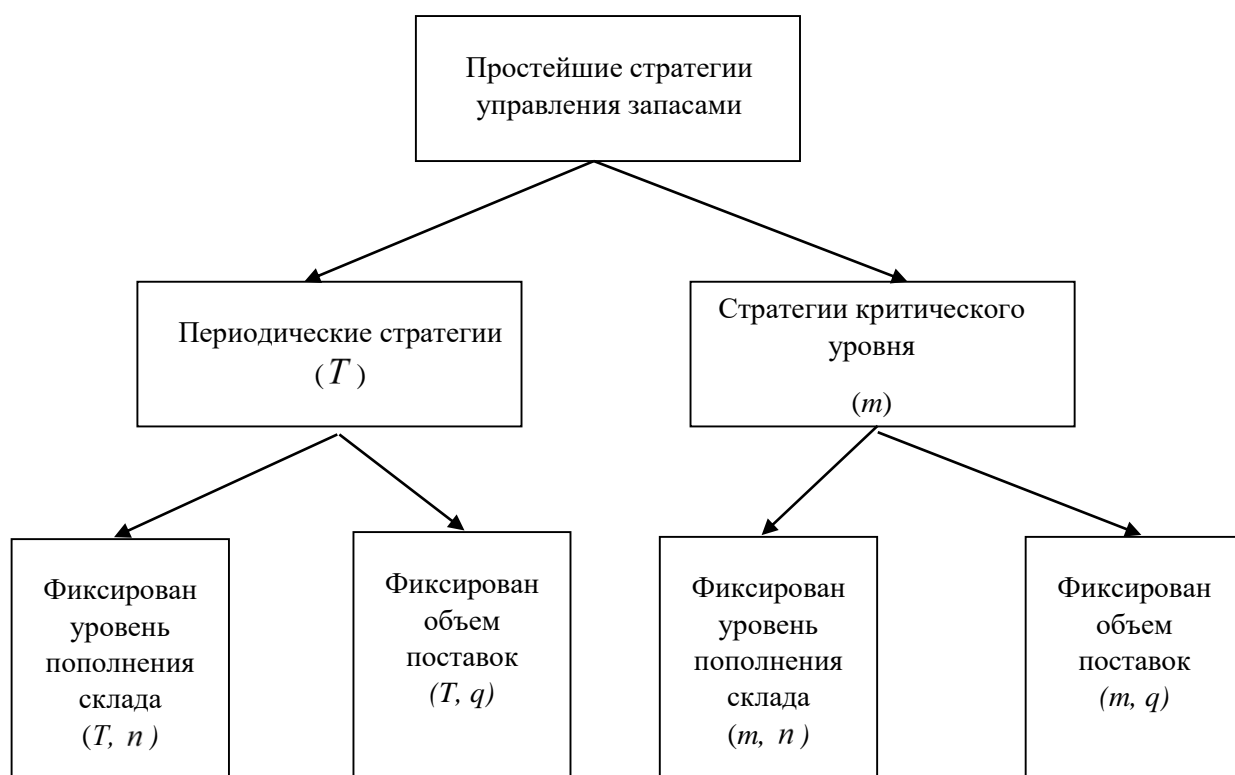


Рис. 1. Классификация простейших стратегий управления запасами

По времени восполнения запаса стратегии делятся на периодические и стратегии критического уровня. В первом случае резерв пополняется через фиксированные промежутки времени, равные периоду T поставок. Во втором

² Буторин В.А., Царев И.Б. Функция затрат на запасы в единицу времени электроремонтных предприятий при дискретном спросе // Вестник Челябинского агроинженерного университета. 2003. Т. 39. С. 28-33.

³ Буторин В.А., Царев И.Б. Планирование запасов обмоточного провода на электроремонтных предприятиях районного уровня // Техника в сельском хозяйстве. 2008. № 3. С. 21-23.

⁴ Рыжиков Ю.И. Теория очередей и управление запасами: учеб. Для ВУЗов. СПб: Питер, 2001. 384с.

случае пополнение производится в тот момент, когда величина запаса, уменьшилась до некоторого критического уровня m .

По количественному восполнению запаса каждая из перечисленных стратегии также делятся на две категории: пополнение производится до определенного максимального уровня n или объем вновь поставленной партии запасных частей имеет постоянную величину q .

Опишем качественные особенности и область применения указанных стратегий управления резервом запасных частей. Стратегия типа (T, q) не содержит элементов обратной связи, соответствует нормативному снабжению и может быть применена лишь в условиях стабильного спроса на запасные части.

Стратегия типа (T, n) является более гибкой и очень быстро реагирует на изменения спроса. Обычная область ее применения – при высокой цене штрафа за ущерб, обусловленный недостаточностью созданного резерва.

Стратегия типа (m, q) реагирует на спрос более медленно, чем стратегия (T, n) типа, так как спрос на запасные части с момента последней поставки до перехода критического уровня накапливается, не вызывая реакции системы снабжения. Это приводит тому, что при временной стабилизации спроса на ненормально высоком уровне возникают частые недостачи запасных частей.

Стратегия типа (m, n) является наиболее гибкой по отношению к спросу, но в практическом использовании она сложнее, особенно в случае многономенклатурного резерва.

Нами показано⁵, что для районов электрических сетей оптимальным временем восполнения аварийного резерва запасных частей является момент, когда запас снизился до некоторой критической величины m , после которого происходит его восполнение до фиксированного уровня n . Значения перечисленных величин находятся путем оптимизации функции $L(m, n)$ затрат, которая имеет следующий вид:

$$L(m, n) = \frac{\lambda_{ae}}{n} C_n + C_{xp} \frac{2m+n+1}{2} + \frac{\lambda_{ae}}{n} C_3 \left[\exp\left(\frac{\ln(1+E)}{T_z} \frac{n}{\lambda_{ae}}\right) - 1 \right] \frac{2m+n+1}{2} + \frac{\lambda_{ae} WC}{\tau_{max} n} \sum_{j=1}^{\tau_{max}} \left\{ \lambda_{ae} j \left[t_{cp} + t_3 \left(1 - \sum_{i=0}^{m-1} P_i \right) \right] - m t_3 \left(1 - \sum_{i=0}^m P_i \right) \right\}, \quad (1)$$

⁵ Буторин В.А., Царев И.Б. Оценка отдельных составляющих затрат, связанных с аварийным резервом запасных частей районов электрических сетей // Вестник Челябинской государственной агроинженерной академии. 2014. Т. 70. С. 14-17

где

$$P_i = \frac{(\lambda_{ав} j)^i}{i!} e^{-\lambda_{ав} j}; \quad \tau_{\max} = 90 \frac{\lambda_{ав}}{\lambda_{ав} + \lambda_p}.$$

Функция затрат с математической точки зрения, является функцией двух переменных: минимального критического количества m запасных частей данной номенклатуры и верхнего уровня n пополнения их аварийного резерва. Функция затрат содержит десять параметров: $\lambda_{ав}$ – количество аварий в год, вызванных отказом элементов данной номенклатуры, год⁻¹; λ_p – количество запасных частей данной номенклатуры, замененных за год, согласно планово-предупредительному ремонту, год⁻¹; C_n – стоимость поставки одной партии запасных частей данной номенклатуры, руб.; C_{xp} – стоимость хранения одной запасной части в течение года, руб./год; C_s – стоимость одной запасной части, руб.; C – тариф за передачу электроэнергии, руб./кВт·ч; W – средний недоотпуск электроэнергии за час простоя при отказе элемента данной номенклатуры, кВт; E – нормативный коэффициент капиталовложений; t_{cp} – среднее время устранения аварии при отказе элемента данной номенклатуры, ч; t_s – среднее время экстренной поставки запасной части, если аварийный запас оказался исчерпан, ч; $T_r = 1$ год – коэффициент введенный для согласования размерности.

В табл. 1 приведены значения перечисленных параметров для различных номенклатур аварийного резерва запасных частей Кетовского сетевого района ОАО «КурганЭнерго», для воздушной линии 10 кВ.

Табл. 1

Технико-экономические параметры функции затрат

Параметр	C_n	C_{xp}	C_o	C	E	t_{cp}	t_o	W	λ_p	$\lambda_{ав}$
Размерность	руб.	$\frac{\text{руб.}}{\text{год}}$	руб.	$\frac{\text{руб}}{\text{кВт} \cdot \text{ч}}$	–	ч	ч	кВт	год ⁻¹	год ⁻¹
Провод АС–50	204	81	540	1,835	0,2	3,6	1,8	470	171	8,6
Провод АС–70	306	91	610	1,835	0,2	3,6	1,8	490	205	12,8
Опора деревянная	4700	1020	3400	1,835	0,2	5,3	3,8	320	16,8	4,2
Опора железобетонная	3500	1020	7800	1,835	0,2	5,3	3,8	320	19,1	2,6
Приставка железобетонная	1900	1020	2900	1,835	0,2	5,3	3,8	320	16,7	3,2
Изолятор ШФ-20	440	47	310	1,835	0,2	3,9	1,8	280	88,4	13,6
Разрядник РВО–10	410	330	1100	1,835	0,2	1,5	1,8	1020	9,8	4,1
Разъединитель РЛНД 10-400	3100	1090	7800	1,835	0,2	4,1	1,8	280	6,4	3,2
Кабель	2100	390	2440	1,835	0,2	2,1	1,8	960	0,0	4,4
Кабельная муфта	450	460	3700	1,835	0,2	2,2	1,8	960	0,0	2,1
Предохранитель ПКТ-10-101	210	73	420	1,835	0,2	0,6	1,8	790	0,0	39,6

Оптимизация аварийного резерва, сводится к отысканию минимума функции затрат по двум переменным – m и n . В табл. 2 приведены результаты этой оптимизации

Табл. 2

Результаты оптимизации функции затрат

Номенклатура	$L(m_{опт}, n_{опт}),$ руб./год	$n_{опт}$	$m_{опт}$
Провод АС–50	18500	54	2
Провод АС–70	32660	83	2
Опора деревянная	52340	20	2
Опора железобетонная	33580	9	1
Приставка железобетонная	39960	15	1
Изолятор ШФ-20	32070	120	3
Разрядник РВО-10	35550	33	2
Разъединитель РЛНД 10-400	53380	13	1
Кабель	18880	44	4
Кабельная муфта	68860	19	2
Предохранитель ПКТ-10-101	218500	433	19

Выполненная работа является дополнением и уточнением действующих в районах электрических сетей норм аварийного запаса основных материалов и запасных частей для воздушных линий 10 кВ. Она позволит снизить затраты, связанные с мероприятиями по устранению аварий в сетевых районах.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ КОМБИНИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

Гайнутдинов Р.Р. – инженер цеха парогазовых установок, АО «Татэнерго» филиал «Казанская ТЭЦ-2»

Менделеев Д.И. – машинист-обходчик энергоблоков цеха парогазовых установок, АО «Татэнерго» филиал «Казанская ТЭЦ-2»

Марьин Г.Е. – старший машинист энергоблоков цеха парогазовых установок, АО «Татэнерго» филиал «Казанская ТЭЦ-2»

Аннотация

Эффективность работы конденсаторов турбогенераторов и других теплообменных оборудования, входящих в состав системы технического водоснабжения, существенно зависит от степени чистоты теплообменных поверхностей со стороны охлаждающей воды, что в свою очередь указывает на необходимость внедрения мероприятий, предотвращающих загрязнения поверхностей теплообменников и повышающих качественные характеристики охлаждающей воды систем технического водоснабжения. В данной статье рассмотрено применение и внедрение технологий aqua-LIK и MOL®Clean в систему оборотного охлаждения.

Введение. Современные тепловые электростанции, с целью охлаждения теплообменного оборудования турбогенераторов, как правило, в основном используют различные источники водных ресурсов. В соответствии с Правилами технической эксплуатации электрических станций и сетей РФ, при эксплуатации систем технического водоснабжения должны обеспечиваться бесперебойная подача охлаждающей воды нормативной температуры в необходимом количестве и требуемого качества, предотвращение загрязнений конденсаторов турбин и систем технического водоснабжения, выполнение требований охраны окружающей среды¹.

¹ Абрамов И.А., Елизаров Д.П., Ремезов А.Н. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций: Учеб. пособие. М.: МЭИ, 2001. 378 с.

В настоящее время к основным проблемам СТВ можно отнести:

– коррозия оборудования и сооружений СТВ. Коррозия может быть определена как процесс разрушения металла за счет химических или электрохимических реакций с окружающей средой. В результате образуются оксиды или соли металла, имеющие менее прочную структуру, что вызывает разрушение материала. В системах охлаждения коррозия вызывает две основных проблемы. Первая и наиболее очевидная проблема – это разрушение оборудования, что влечет за собой затраты на его замену, сбросы загрязняющих веществ в окружающую среду и простои предприятия. Вторая проблема – снижение эффективности работы оборудования, связанное с ухудшением теплообмена, вызванное накоплением в теплообменнике продуктов коррозии;

– выпадение на теплообменных поверхностях солевых отложений, нарушающих процессы теплообмена, преимущественно углекислого кальция, сульфатов и фосфатов цинка и магния. Если концентрация соли в водяной пленке вблизи теплообменной поверхности превышает ее растворимость в состоянии насыщения, происходит осаждение соли, что приводит к образованию на теплообменной поверхности солевого слоя или накипи. Основные виды отложений – карбонат и фосфат кальция, но возможны также отложения и сульфата кальция, силикатов цинка и магния, в зависимости от солевого состава циркуляционной воды. Отложения снижают эффективность теплообменника, так как теплопроводность карбоната кальция приблизительно в 25 раз ниже, чем теплопроводность стали.

– биологические обрастания и отложения, образование биопленок, препятствующих теплообмену, повышающих гидравлическое сопротивление тракта СТВ и, соответственно, энергопотребления. Биозагрязнения также могут ускорять процессы коррозии.

При уровне концентрации в циркуляционной воде гидрокарбоната кальция, способного к распаду, в количестве 1,0-1,5 мг-экв/л ведет к росту толщины накипи на трубных поверхностях конденсатора на 0,3-0,5 мм/год. При этом коэффициент теплопередачи уменьшается более чем в 3,5 раза, а гидравлическое сопротивление увеличивается до 15%. При увеличении давления

в КТ на 1 кПа мощность энергоблоков на конденсационном режиме уменьшается на 0,8-0,9%, а для турбин низкого и среднего давления - на 1,2-1,5% ².

Накипь толщиной 1 мм приводит к повышению расхода топлива на электростанции на 7%. В связи с этим перерасход топлива на электростанциях России составляет в среднем порядка 2%, а на некоторых станциях достигает показателя около 10%³.

Стоит отметить что любое загрязнение или отложения на элементах оборудования повлечет к снижению эффективности работы⁴.

К одной из причин, приводящих к снижению вырабатываемой мощности турбин на электростанциях можно отнести повышение температуры конденсации пара в конденсаторе турбины, то есть «уменьшение» вакуума. Чаще всего причинами этого могут явиться как образование на внутренних поверхностях трубок конденсатора, через которые протекает циркуляционная вода, солевых либо биологических отложений, так и неудовлетворительная работа градирни, входящей в состав системы технического водоснабжения⁵.

Неудовлетворительная работа системы обратного водоснабжения системы охлаждения приводит к снижению экономичности турбин и блоков в целом. Так, например, уменьшение расхода охлаждающей воды через конденсатор турбины по отношению к расчетному значению, вследствие различных неисправностей в системе, повлечет увеличение величины недогрева воды в конденсаторе, и как следствие приведет к ухудшению вакуума и потере экономичности работы блока.

Опыт применения современного метода по борьбе с микробиологическими загрязнениями на энергетическом оборудовании

На установке обратного осмоса был внедрен безреагентный фотокаталитический метод aqua-LiK, целью внедрения являлись:

² Марьин Г.Е., Менделеев Д.И., Гайнутдинов Р.Р. Анализ влияния основных параметров паротурбинного цикла на эффективность работы бинарных ПГУ / Электроэнергетика глазами молодежи: материалы юбилейной X Международной научно-технической конференции. 2019. с. 276-279.

³ Менделеев Д.И., Марьин Г.Е., Галицкий Ю.Я., Федотов А.Ю. Особенности работы блока ПГУ-220 Казанской ТЭЦ-2 по заданному графику / Электроэнергетика глазами молодежи. Казань, Россия.: КГЭУ, 2018. 307-310 с.

⁴ D. I. Mendeleev, G. E. Marin and A. R. Akhmetshin. Performance Characteristics of A Gas Turbine Unit with Clogged Filters of an Air Filtering and Conditioning System// 2020 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon), Vladivostok, 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/FarEastCon50210.2020.9271309.

⁵ Иванов Е.Н., Рубашов А.М., Фокина Н.Г., Крючков А.А. Управление водно- химическим режимом оборотных систем охлаждения // Энергетик. 2008. № 6. С. 24-27.

- 1) очистка мембран и картриджных фильтров от имеющихся биопленок;
- 2) предотвращение дальнейшего обрастания мембран и картриджных фильтров;
- 3) снижение эксплуатационных затрат и трудозатрат на обеспечение процесса подготовки воды;
- 4) снижение негативного влияния на окружающую среду и человека.

Осветленная вода после установки ультрафильтрации собирается в баках осветленной воды БОВ №1,2 (V=400 м³). Из бака осветленной воды насосами вода подается на установку обратного осмоса. Установка состоит из 6-ти параллельно включенных модулей «Шарья П-70 00» (Таблица №1). Производительность каждого модуля по пермеату составляет 60,0 м³/час.

Модуль обратного осмоса состоит из двенадцати напорных корпусов, собранных по двухрядной схеме - восемь корпусов в первом ряду и четыре корпуса во втором. В каждом корпусе установлено по шесть рулонных обратноосмотических элементов. Фильтрующие модули работают в режиме тангенциальной фильтрации. Осветленная вода под давлением разделяется полупроницаемой мембраной на 2 потока: трансмембранного – пермеата и надмембранного – концентрата.

Табл. 1

Характеристики модуля обратного осмоса «Шарья П-70 00»

Характеристики	Основные параметры и характеристики БОО №1-6	
	Размерность	Значение
Производительность при температуре 25+1 °С:		
по исходной воде	м ³ /ч	80
по пермеату	м ³ /ч	60
по концентрату	м ³ /ч	20
Рабочее давление	кгс/см ² (Мпа)	не более 10 (1,0)

Катализатор aqua-LIK-O-500 состоит из двух секций. В каждый из баков (бак осветленной воды №1 и бак осветленной воды №2) воды, было установлено по одной секции катализатора (Рис. 1-2)⁶.

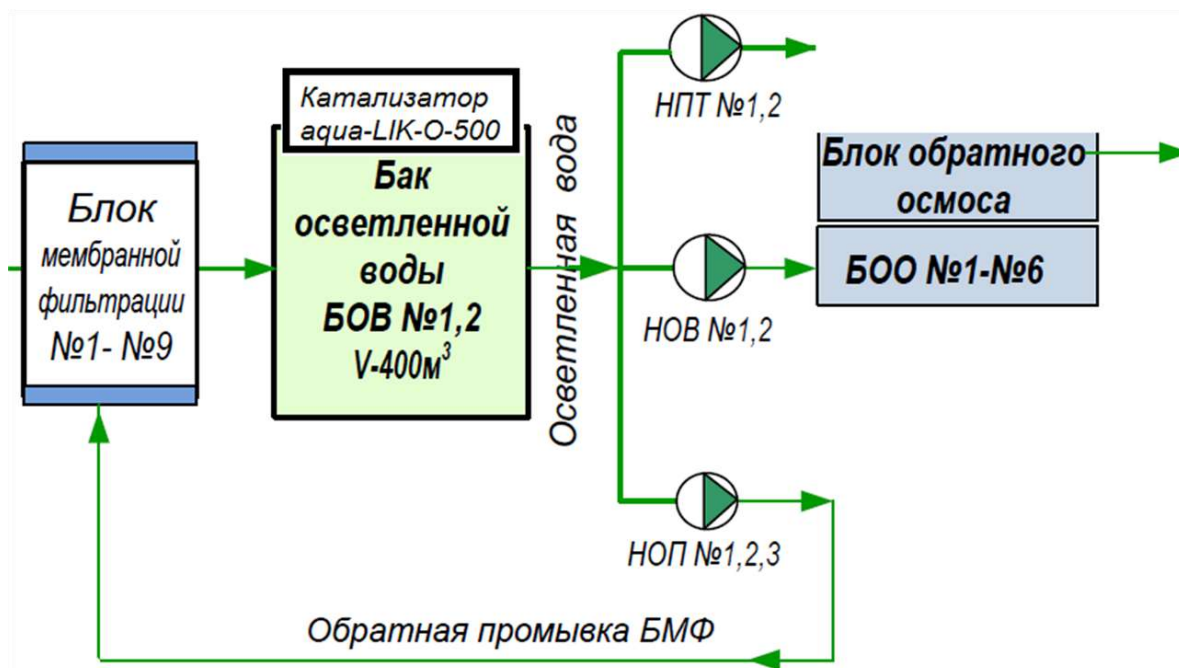


Рис. 1. Фрагмент принципиальной схемы подготовки воды в химическом цехе с размещением катализатора aqua-LIK-O-500

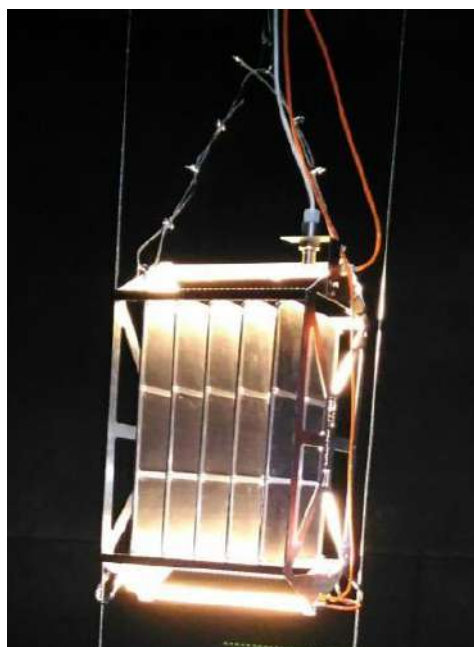


Рис. 2. Размещение катализатора в баке осветленной воды

⁶ Шарифуллин В.Н., Шарифуллин А.В. Диагностика отложений и коррозии теплообменных аппаратов паротурбинных установок в режиме эксплуатации // Энергетик. 2013. №7. С. 39-42; Носенко В.А. Безреагентная обработка оборотной воды в системах охлаждения // Водоочистка. 2013. №4. С. 57-60.

Технологии MOL®Clean и Aqua-LIK имеет ряд преимуществ:

- удаление биообрастания с поверхности оборудования, а также предотвращение его дальнейшего образования;
- эффективное уничтожение всех микроорганизмов, снижение ОМЧ на порядок;
- снижение скорости коррозии до 0,02 мм/год, исключение образования питтинговой (точечной) микробиологической коррозии;
- низкий расход реагента (технология MOL®Clean) или его полное отсутствие (технология Aqua-LIK);
- экологическая чистота технологий;
- эффективность не зависит от величины pH и химического состава воды;
- простота эксплуатации. Не требует проведения анализов и обучения персонала;
- внедрение технологии позволяет достичь высокой экономической эффективности обработки, благодаря восстановлению или сохранению КПД теплообменного оборудования и, как следствие, повышение энергоэффективности производства (био пленка толщиной 250 мкм может снизить теплопередачу на 25%);
- увеличение срока службы оборудования системы оборотного водоснабжения (трубопроводы, теплообменники, насосы, градирни и т. д.);
- уменьшение затрат на обслуживание и ремонт водооборотных систем;
- уменьшение затрат на переработку сточных вод, исключение штрафных санкций за некачественные стоки;
- снижение расходов на транспортировку, складирование и хранение реагентов (технология MOL®Clean) или полное отсутствие подобных расходов (технология Aqua-LIK).

Применение технологии aqua-LIK не требует введения реагентов. Принцип её работы основан на образовании комплекса Fe^{2+} - OH на поверхности наноструктурированного кислородсодержащего сплава (Nano-structured Oxygen Alloy - NOA) под воздействием видимого света (свето-индуцированный катализ). Освещение катализатора осуществляется циклически по таймеру при помощи светодиодных ламп. Под воздействием комплекса Fe^{2+} - OH, свободно

плавающие в воде бактерии и плесневый грибок разрушаются, продукты их разложения окисляются и образуются – биотензиды, которые и позволяют очистить картриджные фильтры и мембраны от имеющихся биопленок и предотвратить их дальнейшее образование. Собственно, катализатор представляет собой пакет каталитических пластин, которые освещаются двумя источниками света.

Впервые для борьбы с биологическими обрастаниями в водооборотных циклах система MOL®Clean была применена в 2004 году на нефтеперерабатывающем заводе (НПЗ) BAYERNOIL (Нойштадт, Германия), мощностью переработки 12 млн. тонн нефти в год.

Первоначально для борьбы с биологическими отложениями на НПЗ использовались хлор-броморганические биоциды. При этом за счёт формирования биоплёнок мощности охлаждения снижались до 15%.

Системой MOL®Clean был оборудован оборотный цикл системы охлаждения (объём 2 500 м³, коэффициент упаривания 4, циркуляция 6 000 м³/ч).

Уже сразу после начала пробного прогона, бактериальная нагрузка в оборотной воде по ОМЧ стабилизировалась с 15 000 КОЕ/мл до уровня 2000 – 10 000 КОЕ/мл.

Нагрузки при ОМЧ ниже 2000 КОЕ/мл нежелательны, т. к. в таком случае недостаточно микроорганизмов для образования биотензидов.

Уже через два месяца после внедрения стабилизировались теплотехнические характеристики теплообменного оборудования. Далее произошло постепенное снижение микробиологической нагрузки в оборотной воде (Рисунок 3).

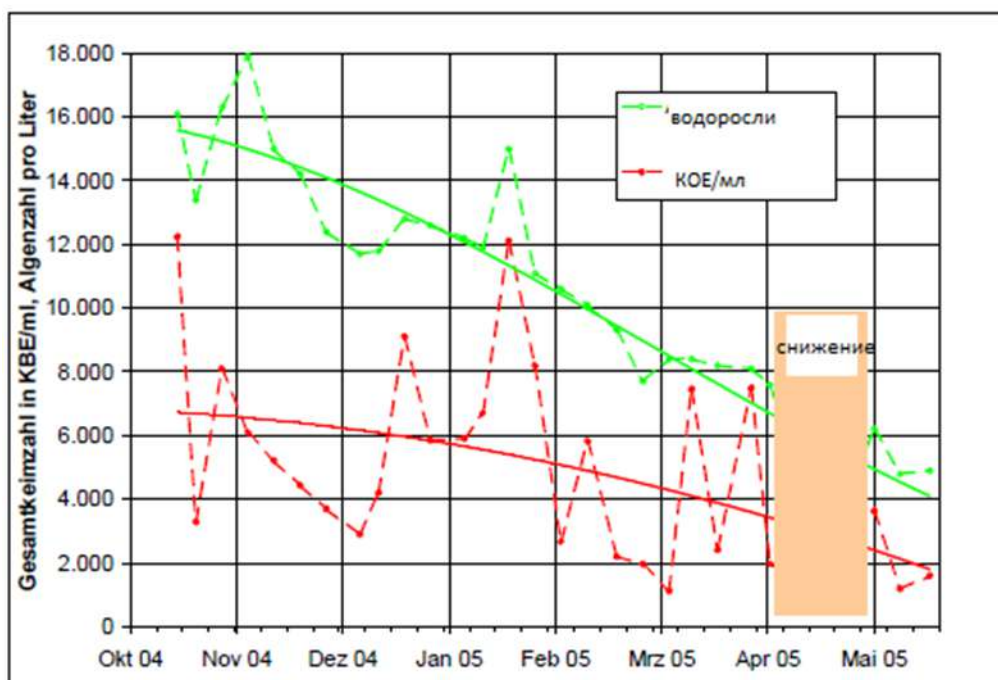


Рис. 3. Снижение микробиологической нагрузки и содержания водорослей

В результате первых 8-ми месяцев эксплуатации MOL®Clean были получены следующие результаты:

- поверхности теплообменников и градирни были очищены от биоплёнок;
- не произошло увеличение скорости коррозии оборудования;
- повысилась производительность контура охлаждения;
- исключено использование биоцидов для борьбы с биообрастаниями.

В тёплый период года с апреля по сентябрь величина микробиологического загрязнения постоянно превышает установленное значение 104 КОЕ/мл, что косвенно свидетельствует об интенсивном формировании биологических отложений в оборотной системе, с ростом которых не справляется существующая реагентная обработка.

После анализа работы оборудования одной из действующих станций в г. Казани в отопительный период было замечено, что после включения теплофикационной установки и увеличения расхода теплоносителя происходило резкое увеличение температурного напора бойлеров.

Для выявления причины резкого увеличения температурного напора бойлеров в период планового останова, совместно с был проведён визуальный осмотр состояния теплообменного оборудования.

В результате осмотра было выявлено наличие тёмно-серых слизневых отложений на внутренних поверхностях теплообменного оборудования.

Для очистки теплообменного оборудования и трубопроводов циркуляционной системы от имеющихся биоплёнок и предотвращения их дальнейшего формирования, снижения эксплуатационных затрат, снижения негативного влияния на окружающую среду и человека, обеспечения безопасности технологического оборудования предлагается разместить станцию дозирования вместе с баком реагента МОЛАКТИВ или Биотен Е35 около открытого затворохранилища испарительных вентиляторных градирен.

Для эффективного функционирования технологии MOL@Clean необходимо обеспечение равномерного распределения биотензидов, которые вырабатываются в катализаторе, по всему объёму циркулирующей воды оборотного цикла. Это может быть обеспечено размещением катализаторов в проточной части чаш градирен.

Заключение. Применение традиционных реагентных методов на основе введения в воду окисляющих и неокисляющих биоцидов в настоящее время не является эффективным из-за механизма привыкания микроорганизмов к воздействию конкретного биоцида. Сами производители биоцидов рекомендуют периодически менять марку биоцида для исключения эффекта привыкания. Также надо отметить экранирующий эффект поверхности биоплёнки, препятствующий проникновению биоцида внутрь неё для дальнейшего разрушения клеток микроорганизмов. В ходе эксплуатации требуется постоянное или периодическое, так называемое шоковое дозирование реагентов. При сбросе воды, обработанной хлорсодержащими реагентами, требуется дехлорирование, для предотвращения отрицательного влияния на окружающую среду.

Несмотря на все преимущества метода УФ излучения при обеззараживании питьевой и сточной воды, в части борьбы с биоплёнками УФ излучение не обладает эффектом последействия, не проникает глубже 20 см в толщу воды, что не позволяет провести полную инактивацию микроорганизмов, образующих биоплёнку. УФ излучение инактивирует микроорганизмы, но органические остатки проходят далее в систему, являясь питательной средой для развития вторичных загрязнений. Метод УФ обеззараживания не решает задачу по удалению существующих, ранее сформировавшихся биообрастаний, а также

не предотвращает повторный рост микроорганизмов из-за отсутствия механизма последствия.

Наиболее приемлемыми для борьбы с биологическим обрастаниями системы охлаждения и как следствие повышения эффективности комбинированной системы оборотного охлаждения представляются две технологии aqua-LIK и MOL®Clean.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЯДЕРНОГО ТОПЛИВА ВВЭР

Дюдяев И.А. – студент, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» «Институт ядерной энергии и промышленности»

Майорова В.В. – студентка, ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» «Институт ядерной энергии и промышленности»

Аннотация

В статье анализируется ядерное топливо, применяемое на различных реакторных установках, действующих АЭС России, оценивается его современное состояние. Рассмотрены перспективные разработки топлива и эффект, достижимый за счет их внедрения.

Список принятых сокращений

АЭС - атомная электростанция;

ВВЭР - водо-водяной энергетический реактор;

ОР СУЗ - органы регулирования системы управления и защиты;

ПЭЛ – поглощающий элемент;

РБМК - реактор большой мощности канальный;

РУ – реакторная установка;

ТВС - тепловыделяющая сборка;

ТВЭЛ – тепловыделяющий элемент.

В числе вопросов, которые представляют научный интерес, особое внимание уделяется проблеме о действии радиации на человека и окружающую среду. Именно поэтому в промышленно развитых странах постоянно происходят демонстрации общественности касательно этой темы. Очень скоро точно такая же ситуация может появиться и в развивающихся странах, создающих свою атомную энергетику. Можно смело утверждать, что споры насчет радиации, а также ее воздействия навряд ли затихнут в ближайшем будущем.

АЭС – всего лишь малая часть сложного многоступенчатого и весьма разветвленного топлива – энергетического комплекса самых различных производств. Уже подготовленное топливо доставляют на АЭС в конструкционных узлах – ТВС, которые готовы к монтажу в активной зоне реактора. Но перед тем, как добываемый из руд уран оказывается в реакторе, он должен поочередно пройти множество технологических процессов на

предприятиях, которые относятся к составу топливно-энергетического комплекса. Это, к примеру, предприятия, осуществляющие добычу топлива, его переработку, транспортировку и т. д.

Ядерный топливный цикл представляет собой последовательность периодических производственных процессов, начиная от добычи топлива и заканчивая устранением радиоактивных отходов. Ядерные топливные циклы имеют различия в деталях, зависящих от вида ядерного топлива и конкретных условий, но их общая принципиальная схема остается неизменной.

Тепловыделяющий элемент (ТВЭЛ) является главным конструктивным элементом активной зоны гетерогенного ядерного реактора, который содержит ядерное топливо. В ТВЭЛах тяжелые ядра ^{235}U , ^{239}Pu или ^{233}U делятся, вследствие чего происходит выделение тепловой энергии, которая в дальнейшем передаётся теплоносителю. ТВЭЛы включают в себя топливный сердечник, оболочки и концевые детали. Тип ТВЭЛа устанавливается, исходя из типа и назначения реактора, а также параметров теплоносителя. ТВЭЛ должен обеспечить надежный отвод тепла от топлива к теплоносителю.

В большинстве современных энергетических реакторах (ВВЭР, РБМК) ТВЭЛ представляет собой набор герметичных трубок из специальных сплавов диаметром 9,1–13,5 мм и длиной несколько метров, которые заполнены таблетками ядерного топлива. Несколько десятков трубок и крепежно-установочные элементы объединяются в единую конструкцию.

Какое бы ядерное топливо ни разрабатывалось для ядерных реакторов, оно должно выполнять такую задачу как: обеспечение работоспособности ТВЭЛов и ТВС в течение срока службы ТВС до проектных значений выгорания топлива. А его эксплуатация должна способствовать снижению себестоимости получаемой электроэнергии. С этой целью прорабатываются: различный состав ядерного топлива, технология изготовления топливной таблетки, проводятся исследования её теплофизических характеристик при работе в различных режимах эксплуатации.

Ядерное топливо с увеличенной топливной кампанией

Модернизация реакторов на сегодняшний день идет в направлении увеличения кампании реактора, что позволяет уменьшить затраты энергии на собственные нужды, уменьшить частоту выгрузки отработавшего топлива, увеличить глубину выгорания ядерного топлива. Высокую длительность

кампании реактора можно достичь путем повышения начального обогащения топлива, а также введением в его состав поглощающих материалов способных выгорать, например, гадолиний, эрбий. Помимо этого, использование выгорающих поглотителей дает целый ряд очевидных преимуществ:

- сведения к минимуму числа подвижных поглощающих стержней;
- увеличение первоначальной загрузки топлива в активную зону реактора, которая требуется для увеличения длительности кампании, без увеличения начального запаса реактивности; выравнивание распределения энерговыделения по объему реактора;
- возможности регулирования температурного коэффициента реактивности, увеличение выгорания топлива.

Однако увеличение глубины выгорания топлива приводит к неравномерному выгоранию ядерного топлива по высоте, что приводит к ослаблению прочностных характеристик тепловыделяющего элемента и при аварийных ситуациях может привести к его разрушению; увеличивается мощность остаточных тепловыделений от отработавших ТВС¹.

Во время перехода к более длительному периоду кампании реактора необходимо увеличить содержание поглотителя в топливе, что приведет к снижению его теплопроводности и росту теплонапряженности ТВЭЛа. Это может вызвать локальное подкипание теплоносителя на поверхности оболочки ТВЭЛа. Также следует сказать, что достижение топливного цикла до 24 месяцев возможно только при повышенных значениях обогащения ядерного топлива по изотопу ^{235}U свыше 5%.

Таким образом, реализация требований безопасности при использовании циркониевого сплава Э-110 в качестве оболочки тепловыделяющего элемента сложно выполнима, в связи с этим рассматривается возможность, как вариант, использовать хромо - никелевую сталь 42ХНМ. Она имеет более высокие прочностные характеристики, чем циркониевый сплав. А для исключения развитого кипения на поверхности ТВЭЛа можно использовать в составе ТВС-2М (рис. 1) перемешивающие решетки «Вихрь» и Прогонка», которые за счет турбулизатора создают завихряющее движение потока теплоносителя вдоль

¹ Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Аникевич К.П. Каким быть ядерному топливу в новых проектах ВВЭР? // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 40-45.

ТВЭЛа, а также отбрасывают образовавшиеся на поверхности оболочки ТВЭЛа пузырьки пара в ядро потока теплоносителя, где они и конденсируются.



Рис. 1. ТВС-2М

ТВС-2М используются с 2006 г. на шести энергоблоках с РУ -320 в России (Балаковская АЭС и Ростовская АЭС), постепенно заменяя ТВС-2. Активная зона 2 блока Ростовской АЭС полностью сформирована из ТВС-2М без бланкетов с первой загрузки. Ни одна ТВС-2 и ТВС-2М не получила механических повреждений за все время эксплуатации. Время падения ОР СУЗ в активных зонах с ТВС-2 и ТВС-2М стабильно находится на уровне 2 секунд. Время падения каждого ОР СУЗ в обязательном порядке контролируется перед перегрузкой активной зоны и после перегрузки активной зоны (рис. 2).

Опыт эксплуатации ТВС-2М

Время падения ОР СУЗ

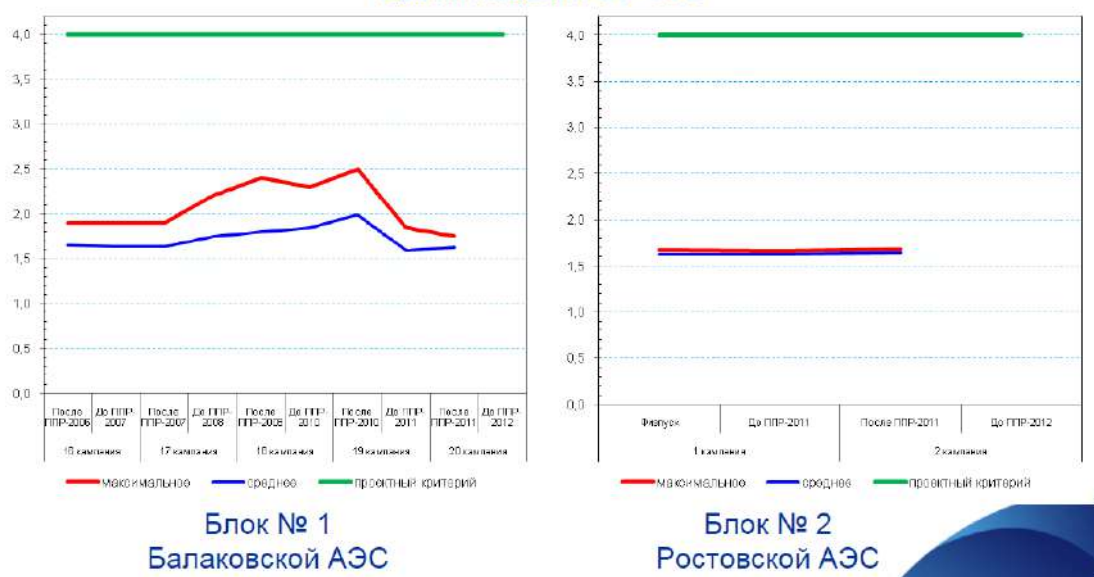


Рис. 2. Время падения ОР СУЗ с ТВС-2М

Использование в качестве материала оболочки ТВЭЛа хром-никелевого сплава 42ХНМ имеет свои положительные и отрицательные стороны.

К достоинствам 42ХНМ можно отнести:

- низкую скорость окисления в водяном паре;
- высокую температуру плавления;
- наличие опыта эксплуатации таких оболочек в элементах конструкции ПЭЛ ОР СУЗ ВВЭР и транспортных реакторах.

Из недостатков сплава можно отметить:

- захват тепловых нейтронов, что потребует повышения обогащения топлива;
- снижение пластичности при высокой температуре;
- изменение химического состава, а значит и свойств под облучением;
- наработка короткоживущих радиоактивных изотопов хрома, радиоактивного кобальта и молибдена.

Также в качестве материала для оболочки ТВЭЛа рассматривается циркониевый сплав Э-110 с напылением хрома (5, 10 и 15 мкм). К его положительным свойствам относятся:

- скорость окисления хромированных ТВЭЛов при температуре 1100-1200 °С на порядок меньше скорости окисления циркониевых труб;
- после автоклавных экспериментов по окислению в водяном паре при давлении 18 МПа и температуре 1100-1200 °С сохраняются механические свойства оболочек (отсутствует водородное охрупчивание) в отличие от циркониевых оболочек².

Итак, в реактор ВВЭР-1000 в ходе планово-предупредительного ремонта энергоблока №1 Ростовской АЭС была загружена партия, состоящая из 12 тепловыделяющих сборок конструкции ТВС-2М с антидебризным покрытием. Это смогло обеспечить коррозионную стойкость в условиях повышения мощности, а также при наличии кипения. К главному недостатку можно отнести отсутствие достаточной экспериментальной базы по состоянию покрытия в случае облучения.

Ядерное топливо с повышенной безопасностью в случае аварии

² Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Аникевич К.П. Каким быть ядерному топливу в новых проектах ВВЭР? // Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 40-45.

К ядерному топливу, повышенной безопасности предъявляются следующие требования:

- низкая наработка водорода при аварии;
- снижение пиковых температур при аварии;
- высокая коррозионная стойкость при рабочих параметрах, в том числе в условиях кипения теплоносителя;
- отсутствие поглощения водорода при нормальной эксплуатации;
- минимальное влияние на обогащение топлива и физику реактора;
- повышение сопротивления дебризному повреждению.

К ядерному топливу, повышенной безопасности можно отнести уран-эрбиевое топливо. Существенное отличие эрбиевого поглотителя заключается в том, что при повышении температуры теплоносителя спектр нейтронов сдвигается в сторону более высокой энергии, в то время как поток нейтронов, приходящийся на область резонанса, увеличивается, а значит и увеличивается поглощение нейтронов.

Данное топливо применяется на Ленинградской АЭС в РБМК–1000. Использование уран-эрбиевого топлива 2.6% обогащения по U-235 с содержанием эрбия 0.41% происходит с апреля 1996г, а уран-эрбиевого топлива 2.8% обогащения с содержанием эрбия 0.60% с декабря 2001г. Таким образом, увеличение обогащения топлива в ТВС РБМК-1000 с прибавлением выгорающего поглотителя, а именно оксида эрбия, привело к повышению уровня безопасности реактора, а также к уменьшению воздействия на экологию за счет:

- снижения числа парового коэффициента реактивности до необходимого предела безопасности, не используя дополнительные поглотители в активной зоне;
- снижения величины максимальной мощности ТВС, а значит и уменьшение отрицательных результатов при проектных и аварийных ситуациях с выходом радиоактивных продуктов деления из-под оболочки ТВЭЛа;
- снижения неравномерности полей энерговыделения в реакторе;

– уменьшения количества дополнительных поглотителей (ДП), даже до полной выгрузки из активной зоны, при необходимости, а, следовательно, и снижение высокоактивных отходов³.

Таким образом, использование эрбия в качестве выгорающего поглотителя дает возможность улучшить температурный коэффициент реактивности замедлителя. У эрбия сечение поглощения тепловых нейтронов на два порядка ниже, чем у гадолиния, до энергий 0.1 эВ. При энергиях нейтронов свыше 0.1 эВ сечение поглощения эрбия начинает расти, а сечение гадолиния продолжает падать с ещё большей скоростью. Значения сечений сравниваются при энергии нейтронов около 0.4 эВ.

Поэтому, если по каким-либо причинам энергия нейтронов начинает расти (например, увеличение энерговыделения в активной зоне реактора и, как следствие, разогрев замедлителя и снижение его плотности), эрбий может выступать в роли отрицательной обратной связи: с увеличением энергии нейтронов их поглощение эрбием возрастает, и энерговыделение в активной зоне снижается⁴.

К недостаткам эрбиевого поглотителя следует отнести некоторое сокращение кампании, которое связано с недовыгоранием эрбия в конце кампании. Однако, этот недостаток можно скомпенсировать увеличением обогащения топлива. Необходимо отметить, что при использовании эрбия в качестве выгорающего поглотителя в 18–24-месячных циклах с повышенным обогащением наблюдается увеличение стояночной концентрации борной кислоты до значений порядка 20–21 г/кг (в случае использования только урангадолиниевых выгорающих поглотителей значение составляет порядка 16 – 17 г/кг).

Ядерное топливо с минимальными радиоактивными отходами в последствии эксплуатации реактора

РЕМИКС-топливо изготавливается из неразделенной смеси урана и плутония, которые выделяются из отработанного ядерного топлива в процессе переработки с добавлением обогащенного урана с содержанием ^{235}U около 16-17%. В МОХ-топливе регенерат плутония смешивается с обедненным ураном,

³ Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Аникевич К.П. каким быть ядерному топливу в новых проектах ВВЭР? Энергетические установки и технологии. 2020. Т. 6. № 1. С. 40-45.

⁴ Аль Давахра Сааду Использование выгорающих поглотителей в реакторах типа ВВЭР. Дис...канд.техн.наук: 05.14.03/ Аль Давахра Сааду ; МИФИ. М. 2006. 143 с.

при этом весовое содержание плутония составляет 8-10%. В РЕМИКС-топливе весовое содержание плутония не превышает 3,5%.

Так как технология создания РЕМИКС-топлива отлична от МОХ-топлива, то это отражается на количественном и качественном составе отработанного топлива и возможности повторной эксплуатации данного топлива в активной зоне реактора. Главное достоинство РЕМИКС-топлива заключается в том, что его можно многократно использовать в активной зоне реактора без существенной деградации. При изготовлении МОХ-топлива берется обедненный уран с достаточно большим добавлением плутония, чем у РЕМИКС-топлива, что не дает возможности многократного использования в тепловых реакторах.

Что касается загрузки РЕМИКС-топлива в активную зону ВВЭР-1000, нейтронно-физические характеристики активной зоны реактора ВВЭР-1000 позволяют сделать полную загрузку активной зоны, а насчет МОХ-топлива, то речь идет о возможности 30% загрузки ядерного топлива в активную зону ВВЭР1000.

Однако не все так радужно с эксплуатацией в активной зоне ВВЭР регенерированного топлива. В ходе эксплуатации из изотопа ^{235}U путем радиационного захвата нейтрона образуется изотоп ^{236}U , который может делиться только быстрыми нейтронами. Кроме того, частое использование регенерированного топлива приводит к значительному росту ^{236}U , что снижает реактивность реактора, происходит снижение доли делящихся изотопов плутония и возрастание доли неделящихся изотопов плутония. После каждого рецикла количество ^{236}U увеличивается, соответственно это приводит к росту ^{232}U . Кроме того, чем длиннее кампания между перезагрузками, тем больше нарабатывается ^{236}U , что требует большего обогащения ядерного топлива по ^{235}U ⁵.

Кроме того, следует отметить значительное влияние на радиационную обстановку наличие в свежем топливе ^{232}U , ^{242}Pu . Чем больше период от момента изготовления ТВС до момента её загрузки в активную зону, тем выше мощность эквивалентной дозы от свежего топлива. К этому добавляется еще один отрицательный фактор – после каждого рецикла увеличивается содержание америция и кюрия, которые негативно отражаются на качественном составе в

⁵ Постоварова Д.В. Радиационные характеристики РЕМИКС-топлива при многократном рецикле в реакторах ВВЭР-1000 // Известия вузов. Ядерная энергетика. 2016. № 1. С. 100-110

случае длительного хранения отработанного топлива и возможности дальнейшей его переработки.

Но тем не менее, несмотря на некоторое ухудшение состава, нужно отметить, что эффективное обогащение отработавшего топлива на конец пятого цикла значительно превосходит эффективное обогащение природного урана и это свидетельствует о возможности дальнейшего рециклирования. Если на начало кампании обогащение ^{235}U составляло 4.95%, то на конец пятого цикла содержание его в регенерированном топливе составляет 2.06%, что гораздо выше содержания природного урана 0.72%.⁶

Недостатком, как РЕМИКС-топлива, так и МОХ-топлива является необходимость обеспечения повышенной радиационной безопасности. Помимо этого, при использовании данного топлива значительно растут затраты на его изготовление, транспортировку, хранение, переработку и утилизацию высокорadioактивных отходов, которые образуются в процессе создания регенерированного топлива.

Общее положительное качество заключается в экономии природных ресурсов в связи с повторным использованием отработавшего топлива и вовлечением его в работу реакторной установки. Ядерное топливо используется для работы в реакторе ВВЭР-С со спектральным регулированием за счет изменения водно-уранового соотношения путем введения в активную зону подвижных вытеснителей. В качестве вытеснителей используются тепловыделяющие элементы с обедненным ураном, которые закреплены на циркониевом прутке. Основная идея спектрального регулирования основывается на регулировании водно-уранового соотношения – ужесточении спектра нейтронов в начале кампании реактора с целью увеличения накопления плутония и последующего смягчения спектра в активной зоне к концу кампании для дожигания делящегося материала⁷.

Применение системы спектрального регулирования имеет целый ряд преимуществ:

- экономия природного урана;
- замыкание ядерного топливного цикла;

⁶ Шаповаленко В.В., Матузаев К.Б., Аникевич К.П. Каким быть ядерному топливу в новых проектах ВВЭР? // Энергетические установки и технологии. 2020. Т.6. № 1. С. 40-45.

⁷ Васильченко И.Н., Махин В.М., Васильченко Р.И. и др., расчетно-конструкторские проработки активных зон ВВЭР со спектральным регулированием / материалы МНТК., ОАО ОКБ «Гидропресс», г. Подольск. 2013. С.1-8

– спектральное управление позволяет загрузить в легководный реактор активную зону, полностью состоящую из МОКС-топлива.

СНУП – топливо – топливо будущего

Была доказана эффективность экспериментальных тепловыделяющих сборок (ЭТВС), изготовленных на Сибирском химическом комбинате (входит в Топливную компанию Росатома «ТВЭЛ»), в рамках реализации проекта «Прорыв», в процессе реакторных испытаний, а также по результатам послереакторных исследований.

Уже 15 ЭТВС в АО «СХК» разработаны, изготовлены и установлены в реактор БН-600 третьего энергоблока Белоярской АЭС на реакторные испытания со смешанным нитридным уран-плутониевым топливом (СНУП). Их различие заключается в типоразмерах ТВЭЛов и конструкционных материалах.

На Белоярской АЭС в процессе реакторных испытаний было пройдено облучение экспериментальными тепловыделяющими сборками с новым видом топлива в активной зоне реактора на быстрых нейтронах промышленного уровня мощности.

С помощью послереакторных исследований двух комбинированных экспериментальных ТВС со смешанным нитридным и оксидным уран-плутониевым топливом было выявлено, что дефекты конструктивных элементов отсутствуют и сборки сохранили целостность.

Таким образом, данные результаты позволяют продолжать работу по обоснованию использования топлива при создании реакторной установки «БРЕСТ-ОД-300» и пристанционных модулей по производству плотного топлива опытно-демонстрационного энергокомплекса. Для этого планируется создание дополнительных ЭТВС со СНУП- топливом для реактора БН-600⁸.

Дальнейшее развитие ядерной энергетики связано с повышением топливоиспользования. С этой целью разрабатывается технология создания регенерированного топлива, многократное использование которого в активной зоне реактора позволит экономить расходы на добычу природного урана, задействовать огромное количество отработанного топлива, а значит и снизить темп его накопления, что в итоге позволит повысить экономическую эффективность использования ядерного топлива.

⁸ «Прорыв» продолжает успешно разрабатывать СНУП-топливо [Электронный ресурс]. URL: <https://tenergy.livejournal.com/89584.html> (Дата обращения 23.01.2021 г.)

На сегодняшний день в активную зону реактора ВВЭР-1000 энергоблока №3 Балаковской АЭС в режиме трехгодичного топливного цикла с периодом перегрузки в 18 месяцев загружено и успешно эксплуатируется три ТВС-2М с шестью тепловыделяющими элементами с РЕМИКС-топливом. Если результаты эксперимента подтвердят возможность длительной безопасной эксплуатации АЭС с загрузкой в неё регенерированного топлива, то замыкание ядерного топливного цикла с включением в него реакторов ВВЭР и БН станет вполне реализуемой задачей.

МЕТОДИКА РАСЧЁТА СРЕДНЕГО ПОТРЕБЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ПОМЕЩЕНИЯ С СИСТЕМОЙ ЛУЧИСТОГО ОБОГРЕВА НА БАЗЕ ПЛЁНОЧНЫХ ЭЛЕКТРОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

Епишков Е.Н. – к.т.н., ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Уразов С.И. – к.т.н., ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Ткачёв А.Н. – к.т.н., доцент ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Аннотация

Экономичность систем отопления зависит от степени теплоизоляции ограждающих конструкций (стен, окон, потолка, дверей и других элементов). Для того чтобы рассчитать среднее значение потребления электроэнергии системой отопления здания на основе плёночных лучистых электронагревателей, нами была разработана методика, приводимая в данной статье.

Введение. Оценка энергетическую эффективность здания не составляет труда, если оно построено недавно, и при наличии проектной документации. Однако большинство эксплуатируемых в сельской местности зданий построены и введены в эксплуатацию несколько десятилетий назад. С течением времени теплоизоляционные свойства ограждающих конструкций ухудшаются: образуются дефекты соединительных швов, теплоизоляция рассыхается и

испытывает механические деформации. Выявить образовавшиеся дефекты позволяет тепловизионная съёмка (рис.1).

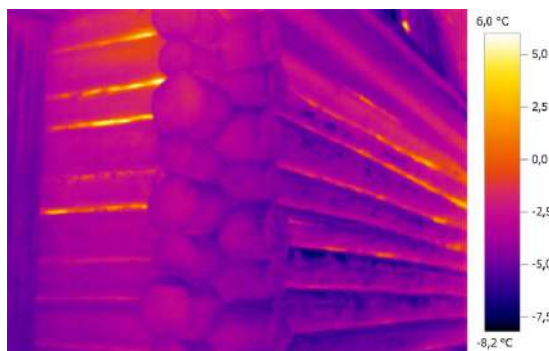


Рис. 1. Съёмка здания с помощью тепловизора

Самые распространённые системы отопления состоят из радиаторов с циркулирующим по ним теплоносителем и котла, где происходит, подогрев данного теплоносителя. Основное различие таких традиционных систем отопления заключается в конструкции котла, обусловленной видом топлива (газовый, угольный, электрокотёл и т. д.) и виде теплоносителя (пар, вода, тосол).

Учеными Челябинской государственной агроинженерной академии разработана система лучистого обогрева (СЛЮ), которая в течении более десяти лет эксплуатировалась в качестве системы отопления сельских школ и детских садов, административных и социально-культурных помещений (больниц, клубов), коттеджей и квартир. Испытания показали надёжную работу этой системы, а ее применение снижает годовые затраты на отопление по сравнению с традиционной системой в 2 – 3 раза в зависимости от специфики объекта. Основным элементом данной системы является плёночный электронагреватель ПЭН¹. Плёночный электронагреватель монтируется на черновой потолок между декором и дополнительной теплоизоляцией (рис.2). Тепловой поток от ПЭН равномерно поглощается всеми оптически непрозрачными предметами помещения.

¹ Пат. на полезн. модель 76764 Российская Федерация. Плёночный электронагреватель [Текст] / Е.Н. Епишков, Н.Е. Епишков, С.В. Глухов; заявитель и патентообладатель Н.Е. Епишков. - №2006110752; заявл. 03.04.2006; опубл. 27.09.2006; Патент. на изобретение 2321188 Российская Федерация. Пленочный электронагреватель [Текст] / Н. Е. Епишков, Е. Н. Епишков, С. В. Глухов; заявитель и патентообладатель Н. Е. Епишков. № 200614292/09 ; заявл. 04.12.2006; Патент. на полезн. модель 84660 Российская Федерация. Пленочный электронагреватель [Текст] / Н. Е. Епишков, С. В. Глухов, Е. Н. Епишков; заявитель и патентообладатель Н. Е. Епишков. .- № 2009106508 ; заявл. 24.02.2009.

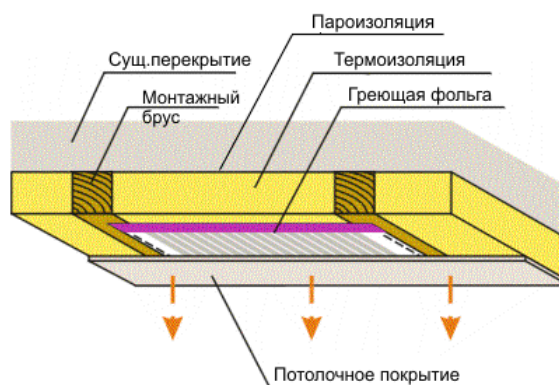


Рис. 2. Схема установки нагревателей.

ПЭН является многослойной конструкцией, резистивные нагревательные элементы которого расположены между двумя специальными ламинированными пластиковыми пленками.

Инфракрасные ПЭН излучают инфракрасную часть спектра, длиной волны 10 – 15 мкм, благоприятно действующую на организм человека и создавая комфортный температурный обогрев помещения. Процесс преобразования электрической энергии, потребляемой нагревателями в тепловую энергию объектов обогрева осуществляется в следующей последовательности:

- электрический ток, протекая по резистивным элементам, преобразуется в тепловую энергию нагревателя;
- теплота нагревателя преобразуется в поток длинноволнового инфракрасного излучения;
- инфракрасный поток, не оказывая влияния на влажность воздуха, поглощается поверхностью пола и предметов, находящихся в помещении, и нагревает их. Нагретая площадь, греет нижние слои воздуха, обеспечивая их перемещение вверх и организуя процесс конвективного теплообмена.

При этом площадью конвективного теплообмена является вся площадь пола и предметов, поглощающих тепловые лучи. Многократное увеличении площади теплообмена создает условия для быстрого изменения температуры воздуха в помещении².

² Бледных В.В. Высокоэффективная технология обогрева жилых и производственных помещений // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 4 (28). С.81-83.

Однако, как было сказано выше, эффективность системы отопления на основе плёночных электронагревателей зависит от теплоизоляционных свойств здания. Оценить данные свойства поможет разработанная методика.

Объекты и методы Данная методика основана на измерении скорости остывания здания. Эта величина зависит от разности температуры внутри и снаружи здания, а также от сопротивления теплопередачи ограждающих конструкций.

Для описания теплофизических процессов предположим, что остывание всех точек пространства внутри комнаты происходит синхронно, то есть отсутствует зависимость температуры от координаты. При таких допущениях процесс остывания воздуха описывается обыкновенным дифференциальным уравнением (без учёта потерь на вентиляцию и инфильтрацию воздуха):

$$c * m * \frac{dT}{dt} = - \frac{T-T_0}{R} * S \quad (1)$$

где c – удельная теплоёмкость воздуха, m – масса воздуха в комнате, T – температура воздуха в комнате, T_0 – наружная температура воздуха, S – площадь ограждающих конструкций здания, R – среднее сопротивление теплоизоляции ограждающих конструкций, t – время.

При наличии внутренних источников тепла в процессе нагрева справедливо дифференциальное уравнение:

$$c * m * \frac{dT}{dt} = P - \frac{T-T_0}{R} * S \quad (2)$$

где P – мощность тепловых источников внутри помещений.

Решения уравнений (1) и (2) будут иметь, соответственно, вид (3) и (4).

$$T(t) = T_0 + B * \exp(-k * t) \quad (3)$$

$$T(t) = T_0 + F(P) + B * \exp(-k * t) \quad (4)$$

где B и k – некоторые постоянные; T_0 – температура окружающей среды (наружного воздуха), $F(P)$ – некоторая функция, зависящая от мощности.

Учитывая то, что в процессе работы системы отопления на основе ПЭН температура в помещении колеблется в пределах от T_2 до T_1 (на рис. 3 $T_2=21$ °С, $T_1=19,5$ °С) и используя это в качестве начального и конечного условия остывания получаем:

$$k = \frac{S}{R * c * m} \quad (5)$$

$$T(t) = T_0 + (T_2 - T_0) * \exp(-k * t) \quad (6)$$

Решая уравнение (6) относительно t находим период времени остывания помещения с температуры T_2 до температуры T_1 .

$$t_{\text{ост}} = \frac{1}{k} * \ln \frac{T_2 - T_0}{T_1 - T_0} \quad (7)$$

Проинтегрируем по времени в пределах времени нагрева равенство (2):

$$\int_0^{t_{\text{нагр}}} c * m * \frac{dT}{dt} * dt = \int_0^{t_{\text{нагр}}} P * dt - \int_0^{t_{\text{нагр}}} \frac{T - T_0}{R} * S * dt \quad (8)$$

В результате интегрирования получаем:

$$c * m * (T_2 - T_1) = W_{\text{эл}} - \frac{S}{R} * \int_0^{t_{\text{нагр}}} (T_2 - T_0) * \exp(-k * t) * dt \quad (9)$$

$$c * m * (T_2 - T_1) = W_{\text{эл}} + \frac{S}{R} * \frac{T_1 - T_0}{k} \quad (10)$$

Учитывая выражение (5), получаем:

$$c * m * (T_2 - T_1) = W_{\text{эл}} + c * m * (T_1 - T_0) \quad (11)$$

Решая данное уравнение относительно второго слагаемого правой части равенства (11), получаем:

$$W_{\text{эл}} = c * m * (T_2 - 2 * T_1 + T_0) \quad (12)$$

Масса воздуха может быть выражена через плотность воздуха (ρ) и объём (V) помещения:

$$m = \rho * V \quad (13)$$

Согласно справочным данным ³ $c_p = 1,005$ кДж/(кг*К); $\rho = 1,205$ кг/м³.

За один цикл нагрева необходимо сообщить помещению одно и тоже количество теплоты $W_{\text{эл}}$ независимо от мощности источников тепла. Поэтому максимальное количество циклов нагрева (N) за время t может быть вычислено по формуле (учитывая, что $t_{\text{ост}}$ – время остывания с T_2 до T_1):

$$N = \frac{t}{t_{\text{ост}}} \quad (14)$$

Таким образом, количество электроэнергии, потреблённое за время t системой отопления может быть вычислено по формуле:

$$W = N * W_{\text{эл}} \quad (15)$$

Экспериментальная часть. Для нахождения постоянных B и k необходимо снять кривую зависимости температуры от времени при остывании помещения. Нам данную кривую удалось снять, исследуя теплофизические свойства здания библиотеки села Большой Куяш Кунашакского района Челябинской области с помощью двенадцатиканального измерителя температуры.

³ Исаченко В.П. Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергоиздат 1981. 416 с.

Измерения проводились четырёхкратно при температуре наружного воздуха $-23\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кривая зависимости температуры в помещении от времени приведена на рисунке 3.

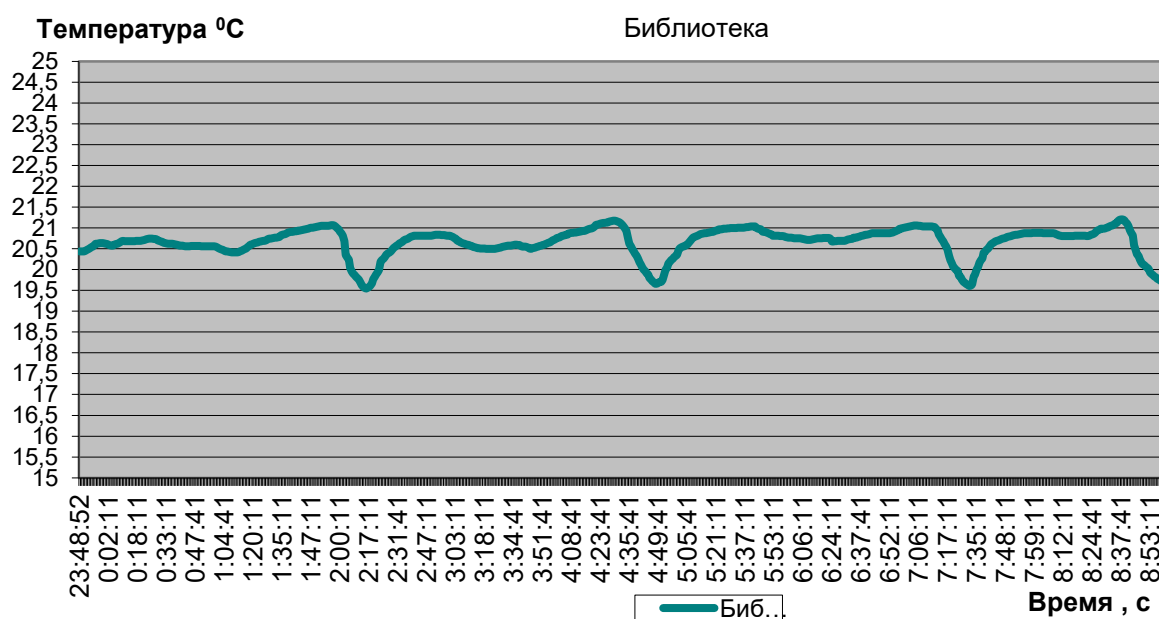


Рис. 3. Зависимость температуры в помещении библиотеки от текущего времени

Как видно, график содержит четыре основных участка остывания. Температура на данных участках понижается с 21 до $19,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ примерно за 13 минут. Двенадцатиканальный измеритель температуры сопряжён через порт RS-232 с компьютером и позволяет снимать показания температуры в цифровом формате через каждые $1,5$ минуты. Данные автоматически записывались в программу Excel, что облегчает их обработку и дальнейшие расчёты.

Пользуясь экспериментально полученными данными, можно рассчитать параметры B и k . Для этого воспользуемся методом наименьших квадратов (МНК).

Прологарифмировав равенство (3), получаем:

$$\ln(T - T_0) = \ln(B) - k * t \quad (16)$$

Нетрудно увидеть, что выражение (16) представляет собой линейную зависимость $\ln(T - T_0)$ от времени. То есть, перед нами зависимость вида:

$$\ln(T - T_0) = a + b * t \quad (17)$$

Где $a = \ln(B)$; $b = k$.

Производя измерение мы снимаем массив значений моментов времени $\{t_i\}$ и вычисляем соответствующие этим моментам времени значения $\{Ln(T - T_0)_i\}$. С помощью формул по методу наименьших квадратов получаем:

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n (Ln(T-T_0)_i * \sum_{i=1}^n (t_i)^2) - \sum_{i=1}^n (t_i * Ln(T-T_0)_i) * \sum_{i=1}^n (t_i)}{n * (\sum_{i=1}^n (t_i)^2) - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (18)$$

$$b = \frac{n * (\sum_{i=1}^n (t_i * Ln(T-T_0)_i)) - \sum_{i=1}^n (Ln(T-T_0)_i) * \sum_{i=1}^n (t_i)}{n * (\sum_{i=1}^n (t_i)^2) - (\sum_{i=1}^n t_i)^2} \quad (19)$$

Среднеквадратичное отклонение при определении этих величин может быть вычислено по формулам:

$$S_b = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ln(T-T_0)_i - b * t_i - a)^2}{(n-2) * \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}} \quad (20)$$

$$S_a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Ln(T-T_0)_i - b * t_i - a)^2}{(n-2)}} * \left(\frac{1}{n} + \frac{\bar{t}^2}{\sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \right) \quad (21)$$

В результате произведённых расчётов по оцифрованным данным представленным на рисунке 3 были получены следующие значения:

$$a = 3.758357, b = -1.5 * 10^{-5} \frac{1}{c}$$

При этом среднеквадратичная ошибка вычисления составила:

$$S_a = 1.13 * 10^{-6}, S_b = 7.03 * 10^{-13} \frac{1}{c}$$

Результаты и их обсуждение

1. Из сравнения полученных величин коэффициентов и значений среднеквадратичных ошибок можно сделать вывод о высокой точности примененного метода.

2. Для расчёта среднего значения потреблённой электроэнергии необходимо знать величину параметра b , объём помещения V , значение температуры наружного воздуха T_0 , допустимые значение колебания температуры внутри помещения (T_1, T_2).

3. На рассмотренном объекте (здание библиотеки села Большой Куяш Кунашакского района Челябинской области) средний удельный расход электроэнергии на отопление в течении отопительного сезона 2012-2013 г. составил $25,8 \text{ Вт/м}^2$, при средней температуре наружного воздуха $-6,5^\circ\text{C}$. Данный расход соответствует теплофизическим свойствам зданий по СНиП 2003 г.

Выводы

1. Зная параметры экспоненты остывания, можно производить оценку теплофизических свойств зданий, сравнивая с аналогичными параметрами помещения, теплофизические свойства которого соответствуют нормам СНиП.

2. Чем лучше теплоизоляция здания, тем меньше показатели экспоненты.

3. Замеры кривой остывания следует производить при небольшой разнице начальной и конечной температуры. В противном случае нельзя ограничиваться первым слагаемым ряда, выражающего зависимость температуры в помещении от времени, что уменьшает точность аппроксимации.

4. Приведённая методика расчёта даёт лишь оценочное значение потребляемой системой теплового комфорта электроэнергии, так как данная величина в значительной степени зависит от температуры наружного воздуха (T_0). В качестве этой температуры предлагается брать среднюю температуру отопительного сезона характерную для рассматриваемого региона. Для Челябинской области она составляет минус 6,5 °С.

ВОДОРОДНАЯ ОЧИСТКА КОНТУРОВ РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК И ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ СТЕНДОВ СО СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Кошелев М.М. – младший научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Ульянов В.В. – к.т.н., ведущий научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Харчук С.Е. – научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Кремлёва В.С. – инженер-исследователь, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Аннотация

Рассматривается процесс водородной очистки свинецсодержащих теплоносителей и контуров реакторов на быстрых нейтронах от шлаковых отложений на основе оксида свинца. Представлены результаты исследований по сравнению эффективности методов проведения водородной очистки на примере исследовательского стенда петлевой конструкции. Экспериментально доказано, что водородную очистку свинецсодержащих теплоносителей необходимо проводить при введении мелкодисперсной газовой фазы непосредственно в объем теплоносителя.

Современные тенденции развития общества всё более остро ставят проблему диверсификации сырьевой базы энергетической отрасли. Наиболее востребованным видом энергии на сегодняшний день можно считать электричество, а повышение эффективности и экологичности его генерации – актуальной задачей энергопромышленного комплекса.

Альтернативные (ветровая и солнечная энергетика)¹ источники энергии активно развиваются и имеют привлекательные экологические показатели,

¹ Буторин В.А., Молчан А.М., Некрасов В.А. Ветроэнергетические установки для электрообеспечения скважинных насосов // В сборнике: Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения. сборник трудов IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов. Южно-Уральский технологический университет. Челябинск, 2020. С. 11-13.

однако ввиду относительно высокой себестоимости генерируемой энергии² и ограничениям климатического, сезонного и территориального характера имеют весьма ограниченную перспективу повсеместного применения. Ядерная энергетика лишена такого недостатка, поэтому она рассматривается сегодня как одно из наиболее перспективных направлений развития энергетики. Однако это справедливо лишь при условии замыкания ядерного топливного цикла, т. е. вовлечения в топливный цикл всего добываемого урана (на сегодняшний день используется менее 1%). Это требует увеличения количества реакторов на быстрых нейтронах в общем балансе ядерных энергетических установок. Решением задачи создания энергетических реакторов на быстрых нейтронах занимаются коллективы ученых по всему миру (Франция, Бельгия, США, Япония, Китай), а ученые РФ занимает в данном вопросе лидирующие позиции. В нашей стране накоплен уникальный опыт эксплуатации ядерных установок транспортного назначения со свинцово-висмутовым теплоносителем, ведется промышленная эксплуатация быстрых натриевых реакторов.

Научные исследования по обоснованию свинецсодержащих и других жидкометаллических теплоносителей для реакторных установок были начаты более 80 лет назад. Рассматривались Hg, Sn, Pb, Bi, эвтектический сплав Pb-Bi. В США достаточно быстро от их использования отказались, а в СССР под научным руководством А.И. Лейпунского сконцентрировались на создании установок с теплоносителем Pb-Bi для кораблей ограниченного водоизмещения, т. е. с такими удельными массогабаритными показателями, которые невозможно достичь в установках с водяным теплоносителем.

Недостаточная изученность свинецсодержащего теплоносителя привела в 1968 году к аварии на АПЛ проекта 645. Расследование аварии показало, что причиной стало накопление в циркуляционном контуре шлаков на основе оксидов компонентов теплоносителя, приведшее к нарушению охлаждения активной зоны реактора. С этого момента вопросу обеспечения контроля и качества тяжелого жидкометаллического теплоносителя уделяется особое внимание. Успешно создается технология тяжелого жидкометаллического теплоносителя, ключевое место в которой занимает водородная очистка. Больше

² Бойкачева Е.В., Мороз В.Н. Альтернативные источники энергии: реальность и перспективы// В сборнике: Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения. сборник трудов IV Всероссийской (с международным участием) научно-практической конференции научных, научно-педагогических работников, аспирантов и студентов. Южно-Уральский технологический университет. Челябинск, 2020. С. 20-25.

аварий на АПЛ со свинцово-висмутовым теплоносителем по причинам, связанным с теплоносителем не было, а накопленный в процессе их эксплуатации опыт и параллельно проводимые исследования позволили перейти к разработке энергетических реакторов на быстрых нейтронах с теплоносителем такого типа.

Согласно последнему стратегическому плану Международного форума «Поколение IV» ожидается, что первым коммерческим реактором среди усовершенствованных ядерных установок 4-ого поколения будет реактор со свинецсодержащим теплоносителем. Выбор такого типа теплоносителя не случаен. Он во многом определяется свойствами внутренней самозащищенности реактора, удовлетворяющими самым высоким требованиям безопасности в отношении тяжелых аварий (включая терпимость к ошибкам персонала и устойчивость к отказам оборудования), что обуславливается сочетанием типа реактора, свойств теплоносителя первого контура и конструкции РУ³:

- высокая температура кипения (~1670 °C) Pb-Bi исключает аварии, связанные с кризисом теплосъема в активной зоне, и обеспечивает возможность поддержания низкого давления в первом контуре в режимах нормальной эксплуатации и при любых аварийных ситуациях;

- интегральная (моноблочная) компоновка оборудования первого контура в едином прочном корпусе, имеющем защитный кожух, малый свободный объем полости между корпусом и защитным кожухом, исключают потерю теплоносителя при нарушении герметичности корпуса (постулированная аварийная ситуация);

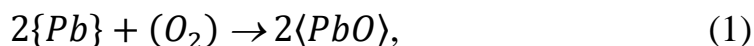
- химическая инертность свинецсодержащих теплоносителей при взаимодействии с водой и воздухом, контакт с которыми возможен при разгерметизации контура, исключает возникновения химических взрывов и пожаров по внутренним причинам;

- способность свинецсодержащих теплоносителей удерживать продукты деления (йод, цезий, актиниды кроме инертных газов) резко снижают масштаб радиационных последствий аварий с потерей теплоносителя;

³ Ulyanov V.V., Alexeyev V.V., Gulevsky V.A., Storozhenko A.N. Prospects of using liquid metal coolants in fast reactors// Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Т. 7. № 1. С.1135.

– малый запас потенциальной энергии, аккумулированной в первом контуре (низкое давление), снижает металлоёмкость конструкции реакторной установки, повышает её безопасность.

Как уже отмечалось выше эксплуатация реакторных контуров и исследовательских стендов со свинецсодержащим теплоносителем сопряжена с процессом образования в них шлаковых отложений на основе оксидов свинца. Оксиды свинца образуются в результате взаимодействия теплоносителя с газообразным кислородом, при этом протекает реакция:



где: $\{Pb\}$ – свинец; (O_2) – газообразный кислород; $\langle PbO \rangle$ – твердофазные оксиды свинца.

Кислород попадает в контур при разгерметизации последнего в холодном или разогретом состоянии. При разгерметизациях разогретого контура кислород непосредственно взаимодействует с зеркалом теплоносителя. При разгерметизациях холодного контура кислород сорбируется поверхностями контура и теплоносителя. В дальнейшем при разогреве контура кислород десорбируется и окисляет теплоноситель. При этом образуются твердые оксиды, которые отлагаются на поверхностях контура и зеркале теплоносителя. Отложения могут блокировать теплопередающие поверхности, нарушать работу насосов, арматуры, увеличивать гидравлическое сопротивление трактов и т. д.

Как правило, отложения больше всего содержат свинец (для контуров с жидким свинцом) и компоненты эвтектики – свинец и висмут (для контуров со сплавом свинец-висмут). Как показали результаты многочисленных исследований состава и химических свойств шлаков⁴, основную долю, в подавляющем большинстве случаев, составляют компоненты фаз PbO, Pb (и Bi для теплоносителя Pb-Bi). В шлаках также присутствуют оксидные фазы из Bi_2O_3 , Fe_3O_4 , Fe_2O_3 и оксидов других элементов конструкционных материалов. Наличие в шлаках элементов конструкционных материалов связано с выходом из них материалов вследствие протекания диффузионных и коррозионно-эрозионных процессов при контакте теплоносителя со стенками и оборудованием циркуляционного контура⁵.

⁴ Мартынов П.Н., Орлов Ю.И. Процессы шлакообразования в свинец-висмутовом контуре. Предупреждение и ликвидация критических ситуаций / Международная конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях». Обнинск.1999. Т.2. С.608–619.

⁵ Ульянов В.В., Мартынов П.Н., Гулевский В.А., Тепляков Ю.А., Фомин А.С., Иванов И.И. Водородная очистка ТЖМТ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2015. № 2. С. 88-101.

Твердая фаза образуется как при непосредственном контакте теплоносителя и контура с окислительной газовой фазой, так и за счет кристаллизации в наиболее холодных участках контура при достижении предельной растворимости примеси при данной температуре. При циркуляции теплоносителя происходит занос оксидов во все участки контура, где они могут осаждаться. Вследствие этого зашлаковке могут подвергаться практически любые участки контура. На рисунке 1 представлен внешний вид трубопровода со шлаковыми отложениями. В таблице 1, в качестве примера, представлены результаты анализа двух видов шлаков, извлеченных из различных контуров.

Табл. 1.

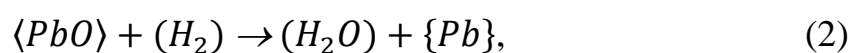
Типичный состав шлаков, мас. %

Компоненты	Pb	Bi	O ₂	Fe	Суммарное содержание Ni, Cr, Mn и др.
Шлак № 1	55,9	39,5	3,5	4,2·10 ⁻¹	< 1 %
Шлак № 2	46,2	48,8	3,6-3,8	1-4,5	< 1 %



Рис. 1. Срез трубы со шлаковыми отложениями на внутренней поверхности

Очистка свинецсодержащего теплоносителя от шлаковых отложений на основе PbO производится за счёт применения водородсодержащих газовых смесей. При этом протекает реакция восстановления свинца из его оксида:



где: {Pb} – свинец; (O₂) – газообразный водород; <PbO> – твердофазные оксиды свинца; (H₂O) – газообразная вода.

Ввиду того, что шлаковые отложения в контуре распределены, как правило, по все объему, а основные места их концентрации представляют из себя тупиковые участки и «холодные зоны» для проведения эффективной водородной очистки необходимо вводить восстановительную газовую смесь непосредственно в объем теплоносителя. При этом необходимо обеспечивать циркуляцию газовой смеси и её максимальную дисперсность для увеличения времени контакта шлаковых отложений с водородом и минимизации сепарации газовой смеси.

В качестве устройств ввода водородсодержащих газовых смесей в объем свинецсодержащего теплоносителя сегодня можно рассматривать: сопловые насадки различных конструкций, обеспечивающие ввод газовых смесей путем барботажа; эжекционные устройства работающие на принципе трубы Вентури (Рис. 2); механические диспергатор газовых смесей, основанные на принципе струйного насоса (Рис. 3).

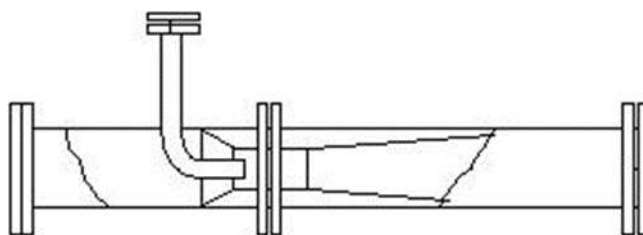


Рис. 2. Конструкция эжектора.

Область использования сопловых насадок ограничивается, как правило, ёмкостным оборудованием и лабораторными установками где отсутствуют требования к скорости проведения процесса очистки и имеется возможность использования сжатой газовой смеси или компрессора в газовом контуре. Эжекторы широко применялись на реакторных установках и стендах петлевой конструкции, в которых достигалась высокая скорость течения теплоносителя (достаточная для работы эжектора) и применялись насосные агрегаты центробежного типа. Механические диспергаторы газовых смесей обосновываются для установок с низкоскоростными течениями теплоносителя. Они, в сравнении с эжектором, позволяют получать более высокодиспергированную газовую фазу.

В целях сравнения эффективности проведения водородной очистки с использованием эжектора и механического диспергатора газовой смеси на

стенде АО «ГНЦ РФ – ФЭИ» были проведены эксперименты по его водородной очистке. Схема стенда представлена на рисунке 4.

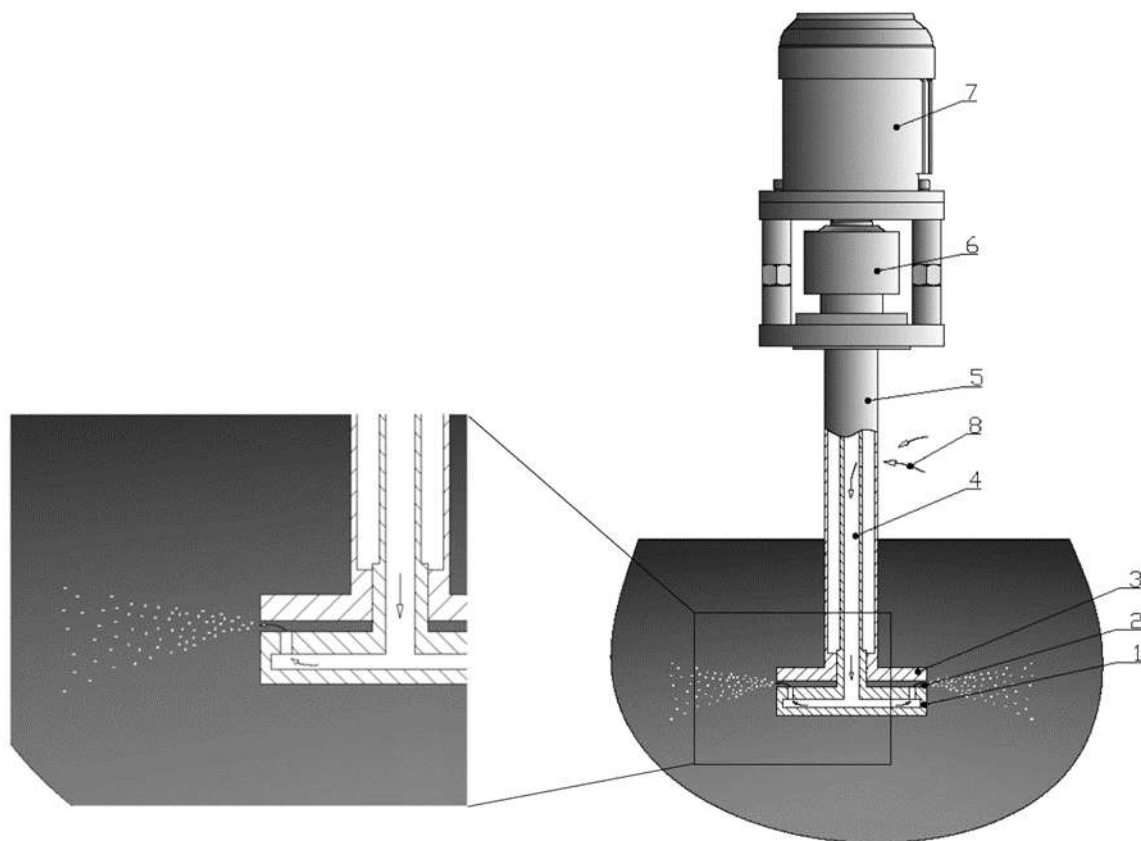


Рис. 3. Механический диспергатор газовых смесей

1 – ротор; 2 – зазор; 3 – статор; 4 – вал; 5 – корпус диспергатора;
6 – магнитная муфта; 7 – электродвигатель; 8 – направление движения
газового потока

Методика проведения эксперимента была следующая. Стенд подготавливался к работе, разогревался и заполнялся свинецсодержащим (эвтектический сплав Pb-Bi) теплоносителем. Температура теплоносителя при проведении эксперимента устанавливалась $400 \pm 10^\circ\text{C}$. Расход теплоносителя через контур циркуляции стенда составлял от 0,35 до 0,55 м³/ч. В газовом контуре стенда создавалась аргон-водородная смесь с содержанием водорода 20%. В работу включалось устройство ввода газовой фазы. Осуществлялся контроль содержания водорода в газовой смеси с помощью хроматографа. По изменению содержания водорода в газовой смеси оценивали скорость срабатывания водорода, а при снижении скорости срабатывания водорода менее 0,2 л/ч водородную очистку прекращали. Также был проведен эксперимент по

очистке стенда без ввода газовой фазы в объем теплоносителя, а лишь за счет взаимодействия на границе раздела «теплоноситель – газ». Расход теплоносителя и температура эксперимента были аналогичны экспериментам с эжектором и механическим диспергатором.

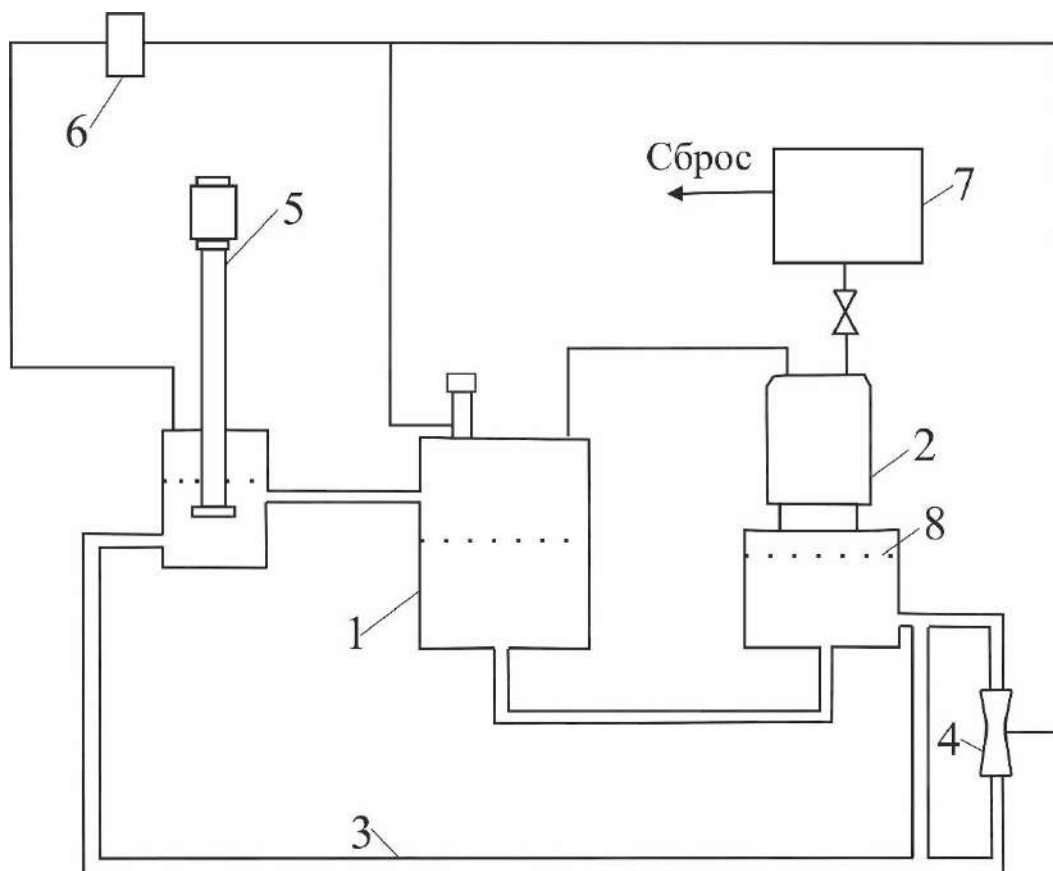


Рис. 4. Схема стенда АО «ГНЦ РФ – ФЭИ»

1 – буферная емкость; 2 – циркуляционный насосный агрегат; 3 – контур циркуляции теплоносителя; 4 – эжектор; 5 – механический диспергатор газа; 6 – увлажнитель газа; 7 – хроматограф; 8 – граница раздела «теплоноситель – газ»

На рис. 5 представлена зависимость скорости срабатывания водорода в процессе проведения водородной очистки с помощью эжектора, механического диспергатора газовых смесей и при проведении водородной очистки контура без ввода газовых смесей в теплоноситель.

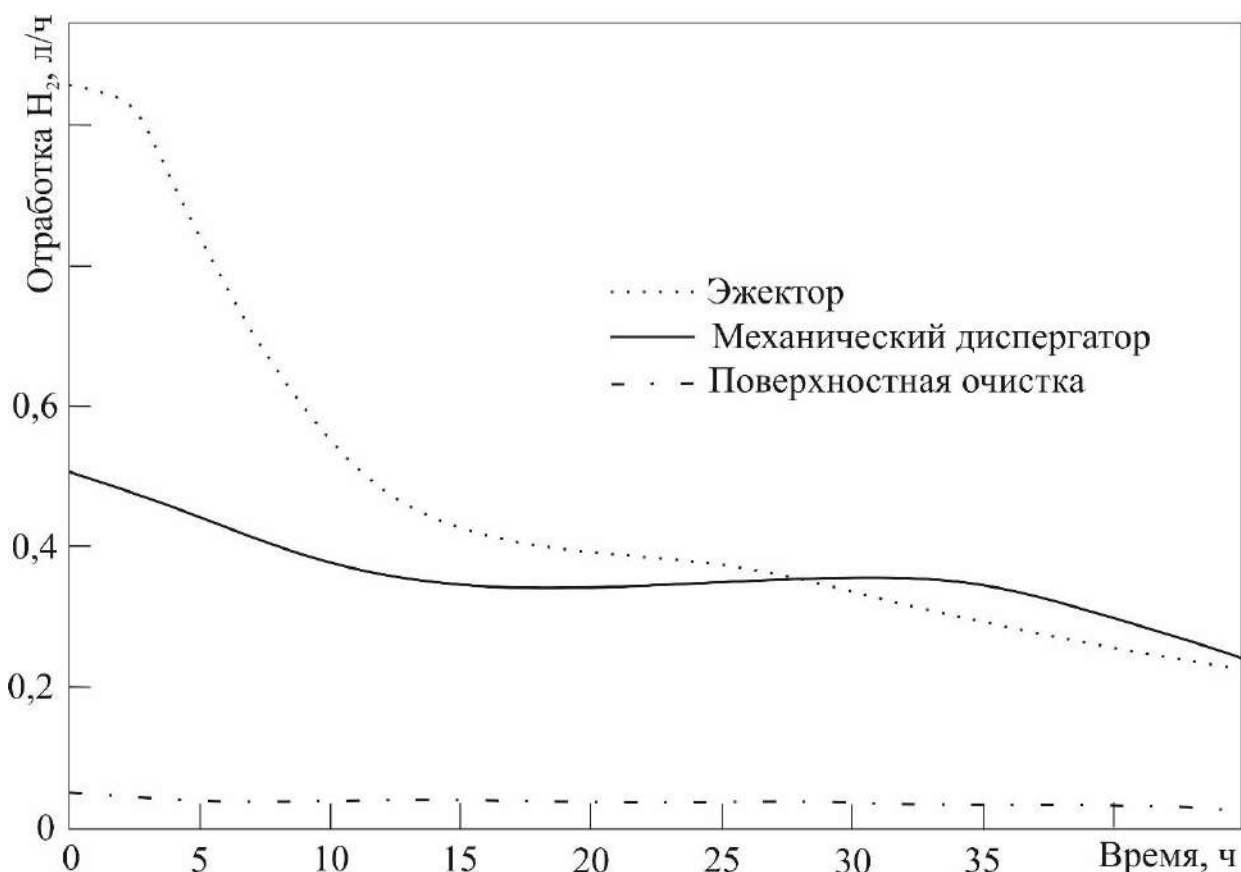


Рис. 5. Скорость отработки водорода при поверхностной водородной очистке, с использованием эжектора и механического диспергатора газа

Из представленных результатов видно, что скорость отработки водорода при использовании эжектора и механического диспергатора газа несоизмеримо больше скорости отработки водорода при поверхностной очистке. Это объясняется тем, что при поверхностной очистке, лимитирующим фактором протекания реакции (2) является растворение шлаковых отложений в объеме теплоносителя с последующим взаимодействием с водородом лишь на границе раздела «теплоноситель – газ». В случае ввода газовой фазы в объем теплоносителя, водород транспортируется непосредственно к месту нахождения шлаковых отложений. При этом процесс интенсифицируется за счет гидродинамического воздействия двухфазного потока с последующим выносом частиц шлаков на поверхность теплоносителя. Более высокую эффективность эжектора на начальном этапе очистки в данных экспериментах можно объяснить большим вкладом гидродинамического воздействия на процесс очистки. Важно учитывать, что эжектор был установлен на оптимальном участке стенда со скоростью опускного течения теплоносителя 1,5-2 м/с, в то время как

механический диспергатор газа целенаправленно был расположен на низкоскоростном участке со скоростью течения $\sim 0.2-0.3$ м/с.

Таким образом, можно сделать вывод, что для водородной очистки контуров со свинецсодержащими теплоносителями предпочтительно использовать методы, основанные на введении восстановительной газовой фазы в объем теплоносителя. Очистку контуров петлевой конструкции с наличием высокоскоростных течений теплоносителя оптимально проводить, используя эжекционные устройства, расположенные на байпасе основного насоса. Для очистки контуров с низкоскоростными течениями наиболее эффективно использовать механические диспергаторы газовых смесей.

УСОВЕРШЕНСТВОВАННОЕ УРАВНЕНИЕ РАСЧЕТА ВРЕМЕНИ ЭЛЕКТРОМОНТАЖА ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ АЭС

Лоскутов И.А. – инженер-конструктор, АО «Научно-производственная корпорация «Космические системы мониторинга, информационно-управляющие и электромеханические комплексы» имени А.Г. Иосифьяна (АО «Корпорация «ВНИИЭМ»», преподаватель автоматизации, ГБПОУ г. Москвы «Политехнический колледж им. Н.Н. Годовикова»

Аннотация

В статье рассматривается один из путей уменьшения временного интервала изготовления силового и управляющего оборудования для АЭС. На основании полученного ранее базового уравнения математическими методами проводится улучшение точности расчетов времени модифицированного электромонтажа. В результате усовершенствования некоторые допущения базового уравнения были устранены и в конечном уравнении были минимизированы погрешности.

Современный мир невозможно представить без высоких технологий, они окружают нас повсеместно. Основным двигателем оборудования является электроэнергия. Действительно, как без крови невозможно существование животного, так и при отсутствии энергии современность падет до уровня средневековья, поэтому неудивительно, что в XXI в. потребность в электроэнергетике постоянно растет, и Российская Федерация не является

исключением в тенденции роста электропотребителей¹. Как следствие, появляется необходимость строительства новых электростанций, наиболее оправданными из которых по мнению автора являются АЭС.

Если комплексно рассматривать время создания проекта АЭС от этапа планирования и заключения контракта до введения в эксплуатацию, то можно обратить внимание на определенные долгосрочные промежутки, одним из которых является изготовление оборудования на смежных предприятиях. Об этом констатируется даже в нормировочном рекомендательном документе МАГАТЭ в пункте 3.1². Именно поэтому автор настаивает на необходимости минимизации затраченного времени на данных этапах техпроцесса.

В данной работе будет рассмотрен только один из этапов – техпроцесс электромонтажа силового и управляющего оборудования для АЭС в модифицированном контуре (этап вязки жгутов предварительно проведен).

Первоначальная попытка решения поставленной задачи была продемонстрирована в 2019 году на конференции в Праге³. В работе было представлено уравнение уменьшения погрешностей расчетов времени модифицированного электромонтажа, которое является базисным в данной работе. Продублируем его:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2J_{1j} \\ \bar{X} = \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j L_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j L_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} L_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} \end{cases} \quad (1)$$

Показанное уравнение было построено по принципам системы «Вход-Выход», подробно описанное в работах Эдуардо Сонтага⁴ и Лэйта⁵

Отметим, что вследствие типизации уравнений с другими контурами техпроцессов необходимо произвести изменение обозначений элементов возмущающего параметра «R». Изменения сведем в табл.1.

¹ Министерство энергетики Российской Федерации статья «Основные характеристики Российской электроэнергетики» [Электронный ресурс]. URL: <https://minenergo.gov.ru/node/532> (Дата обращения 03.01.2020)

² Managing the First Nuclear Power Plant Project // IAEA-TECDOC-1555; (ISBN:978-92-0-105207-0, ISSN 1011-4289) Austria, 2007, 108с.

³ Loskutov I.A. The basic equation for calculating the time spent on the modified installation of power and control equipment for Nuclear Power Plants // International scientific – Practical Conference «Information Innovative Technologies». Прага, 2019. с.141-145.

⁴ Sontag E.D. Mathematical Control Theory. Deterministic Finite Dimensional Systems. Second Edition. New York: Springer, 1998. 530p.

⁵ Leigh JR. Control theory. Second edition – London: The Institution of Electrical Engineers, 2004. 303p.

Замена обозначений параметров массива «R»

Предыдущее	Новое	Предыдущее	Новое	Предыдущее	Новое
L	S	N	U	P	W
M	T	O	V	S	Z

В результате уравнение (1) приобретет следующий вид:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2U_{1j} \\ \bar{X} = \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j W_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j W_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} W_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} \end{cases} \quad (2)$$

Начнем модификацию базового уравнения указанием параметра V – временного элемента, связанного с введением одного видоизменения (когда модификация появилась по завершению монтажной операции). В результате к базовому уравнению будет добавлена часть в виде операций по креплению провода или кабеля по измененному чертежу:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2U_{1j} \\ l_k = \sum_{\eta=1}^{13} q_k + 2U_{1k} \\ \bar{V} = \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j W_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j W_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} W_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} + \\ \sum_{k=1}^{13} \sum_{\rho=l_{k-1}}^{l_k} t_k \prod_{\sigma=1}^k W_k^{l_k-\rho} + \sum_{k=14}^{18} \sum_{\alpha=\nu_{k-1}}^{\nu_k} t_k \prod_{\beta=14}^k W_k^{\nu_k-\alpha} \prod_{\theta=1}^{13} W_{\theta}^{q_{\theta}-\rho} \end{cases} \quad (3)$$

Результирующее значение для \bar{X} будет:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2U_{1j} \\ l_k = \sum_{\eta=1}^{13} q_k + 2U_{1k} \\ \bar{X} = 2 \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j W_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j W_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} W_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} + \\ \sum_{k=1}^{13} \sum_{\rho=l_{k-1}}^{l_k} t_k \prod_{\sigma=1}^k W_k^{l_k-\rho} + \sum_{k=14}^{18} \sum_{\alpha=\nu_{k-1}}^{\nu_k} t_k \prod_{\beta=14}^k W_k^{\nu_k-\alpha} \prod_{\theta=1}^{13} W_{\theta}^{q_{\theta}-\rho} \end{cases} \quad (4)$$

где:

- q_k – количество операций работы, проводимых по новому чертежу с элементом из массива Y;
- U_{1k} – количество ошибок, возникающих при выполнении работ по новому чертежу с элементом массива Y;
- $\prod_{\sigma=1}^k W_k^{l_k-\rho}$ – учет накопления усталости, возникающей во время работы по новому чертежу при выполнении операции с элементом из массива Y;
- ν_k – количество операций работы по новому чертежу с элементом из массива R;
- $\prod_{\beta=14}^k W_k^{\nu_k-\alpha}$ – учет накопления усталости, возникающей при работе по новому чертежу при операции с элементом из массива R;

- $\prod_{\theta=1}^{13} W_{\theta}^{q_{\theta}-\vartheta}$ – учет накопленной усталости, возникающей при работе по новому чертежу после завершения массива Y;
- t_j, t_k – время работы процесса j, k соответственно.

Необходимо заметить, что возможна ситуация, когда видоизменение чертежа или таблицы связано только с добавлением новых электрических соединений. Кроме того, чертеж может поменяться неограниченное количество раз (свойственно экспериментальным образцам). В результате:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2U_{1j} \\ l_k = \sum_{\eta=1}^{13} q_k + 2U_{1k} \\ \bar{V} = \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j W_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j W_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} W_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} + \\ \left(\sum_{\varphi=1}^{2\tau} \left(\sum_{k=1}^{13} \sum_{\rho=l_{k-1}}^{l_k} t_k \prod_{\sigma=1}^k W_k^{l_k-\rho} + \sum_{k=14}^{18} \sum_{\alpha=v_{k-1}}^{v_k} t_k \prod_{\beta=14}^k W_k^{v_k-\alpha} \prod_{\theta=1}^{13} W_{\theta}^{q_{\theta}-\rho} \right) \right) \end{cases} \quad (5)$$

где: τ – количество изменений чертежа.

Поскольку одно изменение ведет за собой как демонтаж, так и последующий монтаж, процесс в уравнении умножается на 2. В случае если монтажа или демонтажа не происходит, значения соответствующих параметров будут равны нулю и никак не повлияют на вид уравнения.

Введем дополнительный параметр $Q(t)$, который будет учитывать время на изучение изменений чертежа. Данный параметр будет относиться к возмущающему массиву R и, как и другие параметры, будет иметь различное значение в зависимости от видоизменения. В результате:

$$\begin{cases} i_j = \sum_{\omega=1}^{13} x_j + 2U_{1j} \\ l_k = \sum_{\eta=1}^{13} q_k + 2U_{1k} \\ \bar{X} = \sum_{j=1}^{13} \sum_{\vartheta=i_{j-1}}^{i_j} t_j \prod_{\mu=1}^j W_j^{i_j-\vartheta} + \sum_{j=14}^{18} \sum_{\delta=\zeta_{j-1}}^{\zeta_j} t_j \prod_{\xi=14}^j W_j^{\zeta_j-\delta} \prod_{\psi=1}^{13} W_{\psi}^{x_{\psi}-\vartheta} + \\ \left(\sum_{\varphi=1}^{2\tau} \left(\sum_{k=1}^{13} \sum_{\rho=l_{k-1}}^{l_k} t_k \prod_{\sigma=1}^k W_k^{l_k-\rho} + \sum_{k=14}^{18} \sum_{\alpha=v_{k-1}}^{v_k} t_k \prod_{\beta=14}^k W_k^{v_k-\alpha} \prod_{\theta=1}^{13} W_{\theta}^{q_{\theta}-\rho} + Q_{\varphi} \right) \right) \end{cases} \quad (6)$$

Несмотря на то, что в элементе $\sum_{\varphi=1}^{2\tau}$ учитывается как монтаж, так и демонтаж, процесс изучения изменений повторяется на каждой итерации. Этот параметр не один для обоих смежных процессов. Во время демонтажа, рабочий-монтажник изучает какие элементы необходимо убрать, а во время монтажа – как и куда крепить / паять.

U_{1k} для каждой операции монтажа/демонтажа имеет разные значения.

Накопление усталости W для каждого процесса также имеет разные значения, зачастую связано это с психологическим недовольством человека из-за изменений, повлекших переделку монтируемого изделия, аналогичная зависимость наблюдается и с временем работы.

В заключение хочется отметить, что данное уравнение намного точнее позволяет рассчитать затраченное работником время на монтажные операции создания силового и управляющего оборудования для АЭС. Управленец, после соответствующего изучения персонала сможет составить план-график не в зависимости от опыта познания коллектива или среднестатистическим коэффициентом, а в соответствии с уже выверенными данными, подставив полученные параметры в выведенное уравнение (6). В дальнейшем уравнение будет усовершенствоваться.

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕТРО-СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В УСЛОВИЯХ СЕВЕРА

Местников Н.П. – аспирант, ФГАОУ ВО «Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова», ведущий инженер Института физико-технических проблем Севера СО РАН

Научный руководитель: Васильев П.Ф. – к.т.н., доцент, начальник отдела электроэнергетики Института физико-технических проблем Севера СО РАН

Аннотация

В данной статье представляются результаты по разработке методики определения энергетической эффективности гибридных систем электроснабжения в условиях холодных температур методом математического моделирования на базе лицензированных программ MathCad 14 и Microsoft Office Excel с учетом необходимых физико-технических закономерностей и внешних условий окружающей среды.

Ключевые слова: математическое моделирование, гибридная система электроснабжения, ветровая энергетика, солнечная энергетика, холодный климат, Арктика.

В настоящий момент в целях проведения электроэнергетических расчетов для разработки технико-экономического обоснования строительства и проектирования гибридных систем электроснабжения на основе функционирования возобновляемых источников энергии используются следующие программы:

- Homer Energy, США.
- RetScreen, Канада.
- Другие лицензированные программы.

Вышеуказанные программы имеют массу преимуществ, такие как: достоверность данных внешних условий окружающей среды в зависимости места размещения объекта, точность технических параметров используемого оборудования и др.

Однако, к примеру, на территории Республики Саха (Якутия) (далее – РС(Я)) данные специализированные программы используются только в научно-исследовательских организациях и институтах. Также необходимо отметить, что стоимость доступа к лицензированной программе Homer Energy составляет около 100 долларов США за 1 месяц подписки, что делает невозможным массовое использование данного вида программ. Кроме того, установка и постоянное использование вышеуказанных программ требует от специалиста определенных навыков к работе с персональным компьютером, где на территории Якутии это является значительной проблемой на фоне низкого уровня владения инновационными технологиями.

Вместе с тем в исполняющих органах государственной власти РС(Я) существуют различные государственные программы по улучшению жилищно-коммунальных условий в соответствии с Указом Главы РС(Я) от 25.10.2017 N 2165 (ред. от 20.11.2018) «О государственной программе Республики Саха (Якутия) «Обеспечение качественным жильем и повышение качества жилищно-коммунальных услуг на 2018 - 2022 годы» (ред. от 20.11.2018).

На основании вышеизложенного для отраслевых министерств и ведомств данного региона создается значительная потребность в программах или математических моделях для оценки и расчетов проектов систем электроснабжения и электрификации на основе использования ВИЭ с приоритетом на облегчение в использовании и ведении расчетов.

Однако необходимо определение наиболее эффективных источников энергии на территории Северо-Восточных регионов России.

Нетрадиционные источники энергии в России могут эффективно использоваться для энергоснабжения потребителей, прежде всего в районах, не охваченных централизованным энергоснабжением. К этим зонам относятся обширные территории России, в которых проживает около 20 млн. чел., а также отдаленные районы Крайнего Севера, Сибири и Дальнего Востока и сельские

районы в том числе центральной части страны (Архангельская, Вологодская, Кировская, Ярославская и некоторые другие области)¹.

Обзор по нетрадиционным источникам энергии показывает, что в настоящий момент существуют разнообразные виды и способы получения электроэнергии. Однако опыт и практика эксплуатации объектов нетрадиционных источников энергии показывает, что наиболее рациональными, эффективными и востребованными являются ветровая и солнечная энергетика с возможностью параллельной генерации электроэнергии с последующим созданием комбинированных электростанций для потребителей III категории надежности электроснабжения с приоритетом на дальневосточные регионы НА, где активно функционируют децентрализованные системы электроснабжения и существуют приемлемые точки в целях создания комбинированного электроснабжения для потребителей различного уровня².

Вместе с тем при анализе показателей солнечной радиации на территории России установлено, что средний показатель годовой солнечной инсоляции составит 3,5 кВт*ч/м² в средней полосе России и 4,0-4,5 кВт*ч/м² в южной полосе России³. Также при анализе показателей продолжительности солнечной радиации на территории России установлено, что наиболее высокий параметр продолжительности составляет более 2 000 часов в год на территории южной полосы России и в центре северной части Дальнего Востока России, где находится наиболее северный субъект Российской Федерации – Республика Саха (Якутия). Однако в основной части территории России отмечается от 1 700 до 2 000 часов в год продолжительности солнечного сияния, что и является главным параметром для средней эффективности генерации электроэнергии от солнечных панелей⁴.

¹ Энергетика. Настоящее. Будущее. [Электронный ресурс]. URL: <http://energetika.in.ua/ru/books/book-5/part-1/section-2/2-8> (Дата обращения: 22.01.2021).

² Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. (2018). «Разработка децентрализованной системы электроснабжения малых сел гибридных станций», в сборнике: Проблемы совершенствования топливно-энергетического комплекса / Материалы XIV Международной научно-технической конференции. 2018 Издательство: СГТУ им. Гагарина Ю.А., Саратов 2018. С. 110.

³ Местников Н.П., Нуруллин Э.Г. Исследование и моделирование процесса генерации ветровой и солнечной электростанции мощностью 650 Вт. В материалах X Международной научно-технической конференции «Инновационные машиностроительные технологии, оборудование и материалы 2019» (МНТК «ИМТОМ 2019»). Ч. 2. Казань, 2019. С. 436.

⁴ Калимуллин Л.В., Левченко Д.К., Смирнова Ю.Б., Тузикова Е.С. / Приоритетные направления, ключевые технологии и сценарии развития систем накопления энергии // Вестник ИГЭУ. 2019. С. 42-54.

Кроме того, рассматривается ветровой потенциал на территории Российской Федерации, где ресурсы ветровой энергии, по исследованиям разных авторов, достаточно сильно варьируют.

Так, технический потенциал ветроэнергетических ресурсов России составляет около $30 \cdot 10^{12}$ кВт*ч энергии в год, а по северной части РФ – $14 \cdot 10^{12}$ кВт*ч/год. Валовой потенциал ветровой энергии в России оценивается по $26.5 \cdot 10^9$ т.у.т., технический потенциал – $4,4 \cdot 10^9$ т.у.т., а экономически выгодный – 10 млн. т.у.т⁵. По самым последним данным распределение ВЭР выглядит следующим образом: валовой потенциал – $2.609 \cdot 10^{15}$ кВт*ч/год, технический – $19.75 \cdot 10^{12}$ кВт*ч/год и экономический – $98.77 \cdot 10^9$ кВт*ч/год.

Известно, что в значительной части России преобладают ветра со среднегодовой скоростью 5-7 м/с, при котором современные ВЭУ работают достаточно эффективно. К таким областям относится все морское побережье, а также зоны, прилегающие к крупным озерам и водохранилищам.

Таким образом, наиболее основным требованием эффективной эксплуатации ветровых электростанции любой линейки мощностей является высокий показатель среднегодовой скорости ветра, которая составит не менее 5 м/с. В этой связи на рисунке 1 представляется карта среднегодовой скорости ветра на территории России.



Рис. 1. Карта среднегодовой скорости ветра по России

С учетом вышеуказанного параметра эффективная эксплуатация ветровых электростанций возможна вдоль Северного Ледовитого океана, Тихого океана,

⁵ Лукутин Б.В., Муравлев И.О., Плотников И.А. Системы электроснабжения с ветровыми и солнечными электростанциями: учебное пособие. Томск: Изд-во Томского политехнического университета. 2015. С. 128.

Охотского и Японского морей с глубиной береговой части не более 150-200 км, где среднегодовая скорость ветра составит более 5 м/с⁶.

Обзор по нетрадиционным источникам энергии показывает, что в настоящий момент существуют разнообразные виды и способы получения электроэнергии. Однако опыт и практика эксплуатации объектов нетрадиционных источников энергии показывает, что наиболее рациональными, эффективными и востребованными являются ветровая и солнечная энергетика с возможностью параллельной генерации электроэнергии с последующим созданием комбинированных электростанций для потребителей III категории надежности электроснабжения с приоритетом на Дальневосточные регионы Российской Федерации, где активно функционируют децентрализованные системы электроснабжения и существуют приемлемые точки в целях создания комбинированного электроснабжения для потребителей различного уровня.

В этой связи автором статьи разработаны математические программы на базе программы MathCad 14, блок-схемы которых представляются на рисунках 2 и 3.



Рис. 2. Блок схема математической программы для оценки работы электростанции «Дизель + Солнце»



Рис. 3. Блок схема математической программы для оценки работы электростанции «Ветер + Солнце»

С помощью вышеуказанных программ специалист может оценить инвестиционные показатели проекта, электроэнергетические параметры электростанции и период автономной работы без применения традиционных источников энергии в условиях холодных температур Арктики.

В настоящий момент в целях облегчения работы программы автор перевел вышеуказанные программы на Microsoft Office Excel, с помощью которой любой специалист может использовать данные программы без особых навыков работы в информационной сфере.

Начальная страница программ t на рисунках 4 и 5.

Введите параметры			
№	Наименование параметра	Единица измерения	Количество
1	Место размещения электростанции	-	Полярск
2	Количество ветрогенераторов	шт	2
3	Диаметр лопасти ветрогенератора	м	3,5
4	Мощность ветрогенератора	Вт	4
5	Стоимость топлива	руб/лтр	55
6	Субсидированность 1 кВт установленной мощности ЭЭС	руб/кВт	150 000,00 ₽
Основные результаты расчетов			
1	Мощность электростанции	кВт	8
2	Средняя стоимость проекта	руб/кВт	1 891 124,29
3	Средняя выработка электроэнергии	кВтч	40344
4	Средние годовые затраты на строительство и эксплуатацию	руб/кВт	60842
5	Гарантированный период окупаемости без учета субсидии	лет	10,48
6	Гарантированный период окупаемости с учетом субсидии	лет	7,17
7	Средняя выработка топлива и дизельного топлива	лтр	23 108,12
8	Срок окупаемости	лет	10
9	Третьеичная мощность для компенсации спроса	кВт	1
10	Третьеичная мощность для компенсации	кВт	1
11	Третьеичная мощность для компенсации спроса	кВт	100

Рис. 4. Начальная страница математической программы для оценки работы электростанции «Дизель + Солнце»

Программа расчета электроэнергетических параметров солнечной электростанции на территории Якутии			Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 23.12.2020 №№12020667411		Автор: Матчинова Юлия Михайловна Работодатель: ФГАОУ ВО "Северо-Восточный федеральный университет имени М.К. Аммосова"	
Введите параметры						
№	Наименование параметра	Единица измерения	Количество			
1	Место размещения электростанции	-	Якутск			
2	Количество солнечных панелей	шт	10			
3	Мощность 1 панели	Вт	250			
4	Длина панели	м	1,58			
5	Ширина панели	м	0,81			
6	Стоимость топлива	руб/литр	55			
Основные результаты						
1	Площадь панели	кв.м	1,28			
2	Мощность электростанции	кВт	2,5			
3	Средняя стоимость киловатт-часа	руб/кВтч	450 000,00			
4	Подъем воздуха электростанции	кВт*ч	6 598,57			
5	Подъем воздуха электростанции	кВт*ч	7 398,05			
6	Время работы без топлива	минут	6,00			
7	Подъем воздуха топлива	кВт*ч	1 171,20			
8	Подъем воздуха топлива и дров/газ	руб/кВтч	68 436,00			
9	Срок окупаемости	лет	8			
Данные являются оценочными и не являются гарантией						

Рис. 5. Начальная страница математической программы для оценки работы электростанции «Ветер + Солнце»

В целях защиты авторских прав данные математические программы расчета основных параметров электростанции на основе ВИЭ, разработанные на базе методики определения энергетической эффективности гибридных систем электроснабжения, получили следующие свидетельства:

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 21.12.2020 года №2020667205.

Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ от 23.12.2020 года №2020667411.

На основании вышеизложенного автором статьи представлены математические программы расчета основных параметров электростанции на основе ВИЭ, разработанные на базе методики определения энергетической эффективности гибридных систем электроснабжения в условиях холодных температур, которые планируется использовать в отраслевых министерствах и ведомствах РС (Я).

К ВОПРОСУ О РАЗМЕРАХ ЗАЗЕМЛИТЕЛЯ НА КАТЕРЕ

Пустоветов М.Ю. – к.т.н., доцент, Технологический институт (филиал) Донского государственного технического университета в г. Азове

Аннотация

Нормативные документы, которыми следует руководствоваться инженерно-техническим работникам при реализации того или иного технического решения, содержат директивы, наставления или рекомендации без подробного пояснения причин и механизмов их формирования. Тем не менее содержание нормативных документов имеет под собой техническую, физическую основу. Автор предлагает пояснения к выбору размеров заземлителя на катере, основанные на расчете сопротивления растеканию тока листового заземлителя.

В наши дни широкое распространение получила технология судостроения из пластика. В особенности часто пластиковые корпуса встречаются на маломерных судах (длина не превышает 20 м), в том числе катерах. Как указано в разделе 2.1 [1]: «Защитное заземление – электрическое подсоединение оборудования к земле. На борту судна данное подсоединение осуществляется к корпусу судна. Корпус судна – все металлические части судна, имеющие надежное электрическое соединение с наружной металлической обшивкой. Для судов с токонепроводящим корпусом – специальный медный лист площадью не менее 0,5 м² и толщиной не менее 2 мм или лист из углеродистой стали площадью не менее 1,5 м² и толщиной не менее 6 мм, прикрепленный к подводной части наружной обшивки при осадке порожнем и используемый для заземления всех устройств, имеющих на судне». В разделе 1.2¹ формулировка аналогична, но упоминается только медный лист с теми же характеристиками (вероятно, в морской воде незащищенный лист из углеродистой стали чрезмерно подвержен коррозии). Поскольку стальному листу предписаны значительные габариты и масса, явно плохо совмещающиеся с понятием маломерного судна, будем далее рассматривать только случай медного листа-заземлителя, значительно более скромного по размерам. Автор столкнулся в своей практике с тем, что даже предписанные размеры медного листа вызывают неприятие у некоторых судостроителей, считающих, что указания в документах²

¹ Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов / Электрическое оборудование. Санкт-Петербург.: 2019. Часть XI. 226 с.

² Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Российский речной регистр. Москва: 2019. 1501 с.; Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. Электрическое оборудование. Санкт-Петербург.: 2019. 226 с.

касаются крупных судов, но не относятся к маломерным, для которых заземлитель должен быть существенно меньше.

Согласно п. 4.4, «Защитному заземлению подлежит: стационарное электрооборудование с металлическим корпусом, металлические конструкции для защиты подводимых к электрооборудованию кабелей (каналы, трубы, желоба, кожухи), наружные и внутренние металлические оболочки (оплетки) подводимых к электрооборудованию кабелей при рабочем постоянном напряжении более 50 В и переменном напряжении более 30 В»³. То есть, если на катере установлено электрооборудование с номинальным переменным напряжением 220 В, то его нетоковедущие металлические части подлежат заземлению.

Система питания переменным током на катере, как при работе установленного на борту электрогенератора, так и при работе от береговой сети, является системой с изолированной нейтралью (нейтраль генератора или трансформатора трехфазного переменного тока, средняя точка источника постоянного тока, один из выводов источника однофазного тока не присоединены к заземлителю при помощи заземляющего проводника). Согласно п. 1.7.104 «Заземляющие устройства электроустановок напряжением до 1 кВ в сетях с изолированной нейтралью», «Как правило, не требуется принимать значение сопротивления заземляющего устройства менее 4 Ом. Допускается сопротивление заземляющего устройства до 10 Ом, если ... мощность генераторов или трансформаторов не превышает 100 кВА»⁴. Заметим, что типичная мощность потребителей на борту катера не превышает 5...20 кВА.

Рассчитаем сопротивление растеканию тока заземляющего устройства, представляющего собой лист меди площадью 0,5 м² (пусть его размеры таковы: длина $l = 1$ м, ширина $b = 0,5$ м, заглубление (расстояние от поверхности воды до середины листа, закрепленного на транце катера $t = b/2 = 0,25$ м).

Для расчета сопротивления плоского заземлителя, только одна сторона которого контактирует с землей или водой, известны выражения (1) и (2)⁵:

$$R = 2 \cdot 0,25 \frac{\rho}{\sqrt{l \cdot b}} \quad (1),$$

³ ГОСТ 24040-80 «Электрооборудование судов. Правила и нормы проектирования и электромонтажа». М.: ИПК Издательство стандартов, 1998. 26 с.

⁴ Правил устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2019. 462 с.

⁵ Петухов, С. В. Расчет заземляющего устройства: метод. Указания к выполнению контрольной работы [Электронный ресурс]/ сост. С. В. Петухов, С. В. Бутаков, В. В. Радюшин. Архангельск.: Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова, 2011. 22 с. URL: <https://narfu.ru/university/library/books/0616.pdf>. (Дата обращения: 31.01.2021.)

где ρ , Ом·м – удельное сопротивление воды (для морской воды 0,3 Ом·м [6], для речной воды 10...100 Ом·м⁶). Заметим, что последнее число совпадает со значением удельного сопротивления грунта (до 100 Ом·м). Значения удельного сопротивления для различных грунтов и почв приведены в работе⁷.

$$R = 2 \cdot \frac{0,366\rho}{l} \lg\left(\frac{2l^2}{b \cdot t}\right). \quad (2).$$

Для морской воды вычисления по выражению (1) дают результат 0,21 Ом. По выражению (2) результат 0,26 Ом.

Для речной воды получаем по выражению (1) получаем диапазон значений сопротивления 7,07...70,7 Ом, а по выражению (2) 8,81...88,1 Ом. То есть, расчеты по выражениям (1) и (2) дают близкие результаты.

Важно, что для морской воды и речной воды с примесями (не чистой, какая свойственна горным рекам и озерам, в большинстве своем несудоходным) расчетные значения для сопротивления заземлителя площадью 0,5 м² (не превышают рекомендованной величины 10 Ом).

Конечно, если катер эксплуатируется исключительно в морской воде, то сопротивление растеканию тока соответствует рекомендациям⁸ со значительным запасом, и напрашивается возможность уменьшить площадь медного листа-заземлителя. Но, в особенности для маломерного судна, могут возникать обстоятельства, когда нужно зайти в пресноводный водоем. Например, судостроительный завод, расположенный на реке, может проводить испытания катера в своей акватории. Или в процессе эксплуатации катер должен доставить людей или груз вглубь суши по реке. Или производится перебазирование катера своим ходом из одного моря в другое по внутренним водным путям (рекам, каналам). При этом электробезопасность экипажа и пассажиров должна остаться на удовлетворительном уровне.

Таким образом, можно сделать вывод, что минимальная площадь медного листа для заземления судна⁹ выбрана для обеспечения приемлемых значений

⁶ Удельное электрическое сопротивление электролитов, жидкостей и расплавов солей / щелочей. [Электронный ресурс]. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnethism/ElectricalResistanceAndConductivity>. (Дата обращения: 31.01.2021).

⁷ Удельное электрическое сопротивление основных типов почв, грунта, земли, камня. [Электронный ресурс]. URL: <https://dpva.ru/Guide/GuidePhysics/ElectricityAndMagnethism/ElectricalResistanceAndConductivity> (Дата обращения: 31.01.2021).

⁸ Правила устройства электроустановок. Все действующие разделы ПУЭ-6 и ПУЭ-7. М.: Норматика, 2019. 462 с.

⁹ Российский морской регистр судоходства. Правила классификации и постройки морских судов. Часть XI. Электрическое оборудование. Санкт-Петербург.: 2019. 226 с.; Правила классификации и постройки судов (ПКПС). Российский речной регистр. Москва.: 2019. 1501 с.

сопротивления растеканию тока заземлителя для безопасной эксплуатации электрооборудования судна как в морской, так и в речной воде, и может быть только увеличена, но не уменьшена вне зависимости от того, является ли судно маломерным.

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УСТАНОВКИ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО КОПЧЕНИЯ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА РЫБНЫХ ПРОДУКТОВ

Селунский В.В. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Ткачёв А.Н. – к.т.н., доцент, ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Вершинин В.Д. – студент, ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

В статье производится сравнение традиционного и электростатического способов производства рыбы холодного копчения. Произведен анализ работы заводской установки электростатического копчения УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ» и выявлены её недостатки при производстве рыбных продуктов. Для улучшения товарных и потребительских свойств выпускаемой продукции предлагается усовершенствовать конструкцию электрокопильной установки. Приведены результаты испытаний усовершенствованной установки.

Технология электростатического копчения рыбопродуктов была предложена в 50-х гг. прошлого века изобретателями Калитиной М.И. и Калитиным А.А., а внедрение разработок производилось на Киевском комбинате рыбных продуктов¹. Работы в области электростатического копчения были продолжены и другими исследователями².

В результате проводимых изысканий были установлены основные параметры и характеристики процесса дымовой обработки рыбы в поле коронного разряда (электрокопчение) и выявлены преимущества этого способа производства рыбопродуктов.

¹ Воскресенский Н.А., Логунов Л.Л. Технология рыбных продуктов. М.: Пищевая промышленность, 1968. 424 с.

² Мезенова О.Я., Ким И.Н., Бредихин С.А. Производство копченых пищевых продуктов. М.: Колос, 2001. 208 с.

Основное преимущество электрокопчения заключается в значительном ускорении процесса осаждения коптильного препарата, находящегося в электрическом поле коронного разряда, на поверхность продукта. Это приводит к следующему:

- значительно сокращается время обработки дымовой обработки объекта копчения;
- более полно используются коптильные вещества, следовательно, требуется меньше дымообразующего сырья;
- сокращаются выбросы дыма за пределы коптильной камеры, что улучшает экологию и санитарную обстановку производства;
- увеличивается коэффициент использования коптильного оборудования, т. к. время нахождения в нем рыбного сырья – уменьшается.

Однако широкому внедрению электростатического копчения препятствуют следующие недостатки.

1. Неготовность продукта к употреблению в пищу сразу после завершения дымовой обработки продукта коптильными препаратами. В первую очередь это относится к рыбопродуктам холодного копчения³. Для приобретения продуктом потребительских свойств и товарного вида необходимо обеспечить его выдержку, после окончания обработки дымом, при определенной температуре и влажности.

2. Несовершенство общей технологии копчения с использованием способа электростатического нанесения коптильного препарата на поверхность продукта.

3. Несовершенство конструкций и дороговизна выпускаемых промышленностью электростатических коптильных установок.

Все эти факторы не позволяют получать достаточно качественные копченые рыбные продукты, конкурентно способные по своим потребительским свойствам с продуктами, получаемыми при традиционном копчении.

Все это вызывает у работников перерабатывающей промышленности, занимающихся производством копченых продуктов, определенный скепсис и недоверие к электростатическому способу копчения. Предприниматели также не

³ Буторин В.А., Селунский В.В., Банин Р.В., Ябыков К.Ж. Оптимизация электростатического способа копчения рыбы // АПК России. Научный журнал. 2018. Т. 25. №1.

готовы вкладывать деньги в дорогостоящее оборудование, не будучи до конца уверены в положительном результате.

Отечественная промышленность выпускает в настоящее время следующие установки, предназначенные для электростатического копчения: УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ», «Ижица-1200», «Ижица-1200М2» и другие. Они имеют примерно одно и то же устройство, но отличаются друг от друга по вместимости коптильной камеры, производительности, цене. Наиболее приемлемой по критерию «цена - производительность» является установка УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ», выпускаемая Северодвинским ОАО «Завод «Полярная Звезда»⁴.

Нами были проведены испытания и исследована работа заводской установки электростатического копчения УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ» (рис. 1). На данной установке производилось холодное копчение электростатическим способом мойвы и скумбрии. При холодном копчении температура дымовоздушной смеси коптильного дыма, которой обрабатывается продукт, не должна превышать +40°С⁵. В этом и заключается холодное копчение, при котором белки и ферменты в мясе рыбы не теряют нативных свойств (то есть не бывают денатурированы). Готовность продукта при холодном копчении достигается за счет комплексного действия на ткани продукта поваренной соли, коптильных препаратов, ферментов и обезвоживания. Однако, как показали наши замеры, температура в коптильной камере при холодном копчении часто превышала эти значения.

⁴ Устройство электростатического копчения УЭК – 1 «ИДИЛЛИЯ». Руководство по эксплуатации. Северодвинск, 2018. 64 с.

⁵ ГОСТ 11482-96. Рыба холодного копчения



Рис. 1. Установка электростатического копчения УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ»

Опытная эксплуатация УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ» выявила два основных недостатка в работе данной установки при производстве рыбы холодного копчения.

1. Температура дымовоздушной смеси при производстве рыбы холодного копчения часто превышает допустимое значение, равное $+40^{\circ}\text{C}$. Происходит это из-за того, что конструктивно дымогенератор (устройство, где происходит тление дымообразующего сырья и образование коптильного дыма) находится вблизи от коптильной камеры непосредственно под ней.

2. Рыба, находящаяся в коптильной камере, прокапчивается неравномерно, так как большая часть коптильного вещества оседает на её поверхности, находящейся в нижней части коптилки, ближе к дымогенератору. Особенно это заметно при постоянно включенном источнике высокого напряжения.

Все это снижает качество готового продукта.

Для проведения исследований по усовершенствованию процесса электрокопчения была изготовлена экспериментальная установка (рис. 2).

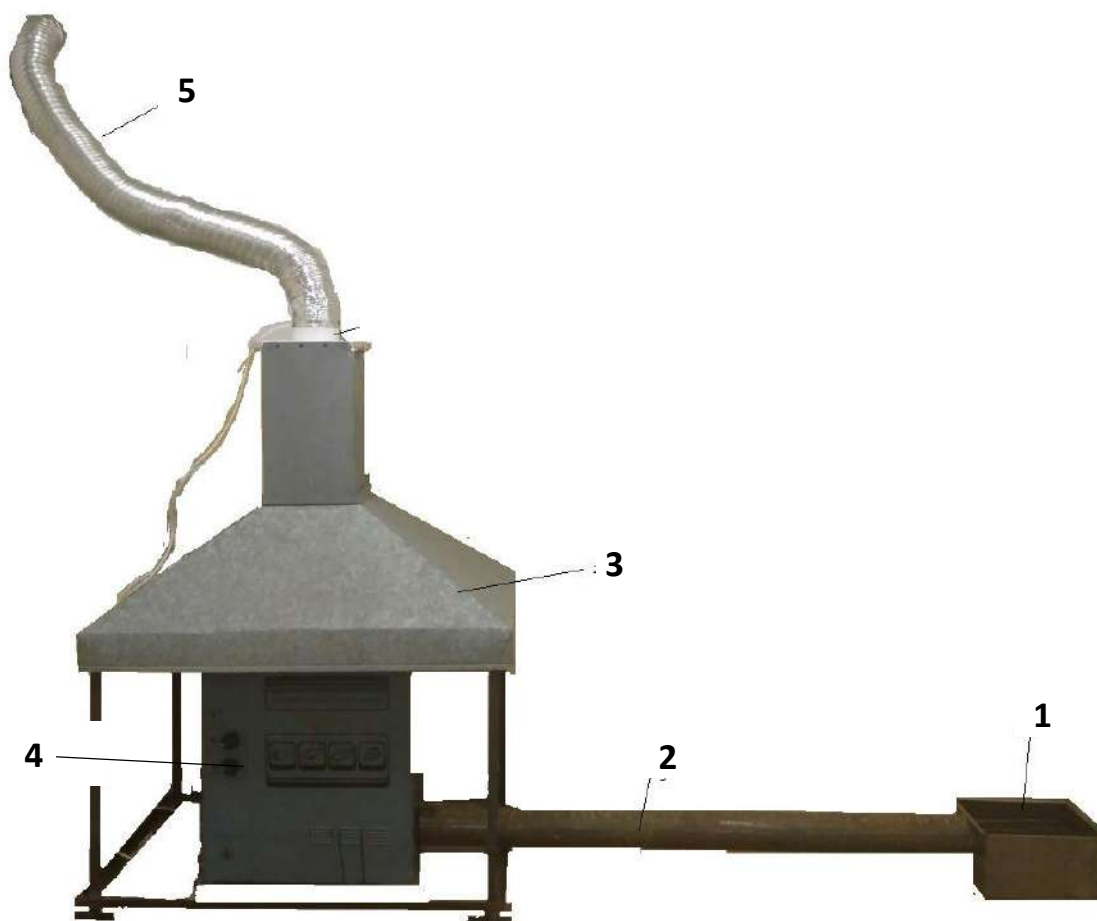


Рис. 2. Внешний вид экспериментальной установки

1 – выносной дымогенератор; 2 – дымопровод (труба); 3 – зонд для сбора отработанного дыма; 4 – установка электростатического копчения; 5 – воздуховод для отвода дыма

Основой опытной экспериментальной установки является электростатическое коптильное устройство УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ» (4). Дымогенератор, который находится в нижней части заводской установки, был демонтирован и заменен устройством для подачи дыма в коптильную камеру. Дым в опытной установке производился в выносном дымогенераторе (1) и по дымопроводу (2) подавался к месту копчения.

Выносной дымогенератор (рис. 3) изготовлен из металла толщиной 2 мм. С одной стороны агрегата установлена заслонка (4), с помощью которой загружается сырьё для производства коптильного дыма (опилки, щепы) и которая используется для регулирования подачи воздуха в зону тления дымогенератора. В верхней части корпуса генератора дыма установлен отрезок трубы (5) для отвода коптильного дыма. Внутри корпуса, на дне устройства, располагается

трубчатый нагревательный элемент (ТЭН), который разогревает опилки и обеспечивает начало их тления (дымообразования). С помощью лабораторного автотрансформатора (ЛАТРа) ток, потребляемый ТЭНом, отрегулирован таким образом, чтобы температура его поверхности составляет 350...400 °С, что является оптимальной для производства коптильного дыма ⁶.

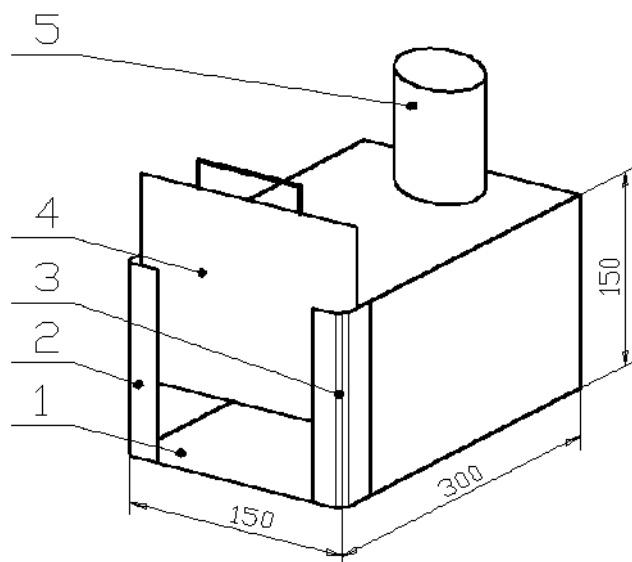


Рис. 3. Конструкция выносного дымогенератора

1 – корпус дымогенератора; 2, 3 – уголки, для крепления заслонки;
4 – заслонка; 5 – патрубок для отвода коптильного дыма

Дымогенератор соединяется с коптильной камерой дымопроводом (рис.2, поз. 2), который изготовлен из трубы диаметром 60 мм с толщиной стенок 2 мм. Как показали проведенные опыты, такая конструкция дымопровода обеспечивает снижение температуры для приемлемых для холодного копчения значений (ниже +40°C).

Дым подается в нижнюю часть коптильной камеры. Там вместо демонтированного заводского дымогенератора установлено распределительное устройство для равномерной подачи коптильного дыма в камеру для копчения (рис. 4).

⁶ Мезенова О.Я., Ким И.Н., Бредихин С.А. Производство копченых пищевых продуктов. М.: Колос, 2001. 208 с.

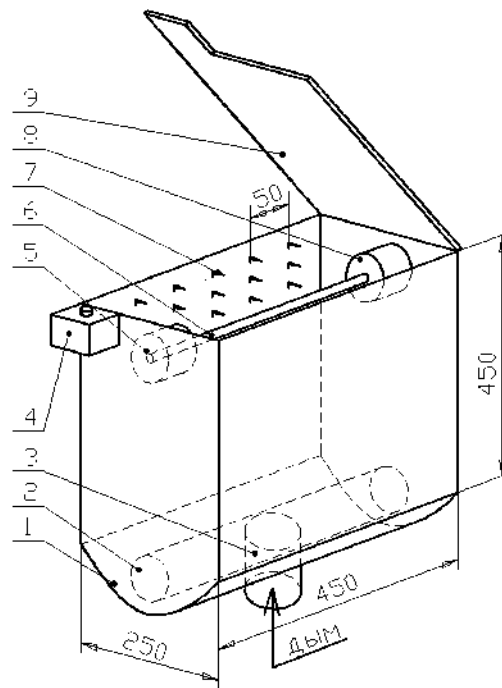


Рис. 4. Модернизированная коптильная камера электростатической установки
 1 – корпус коптильной камеры; 2 – устройство для равномерной подачи дыма в коптильную камеру; 3 – патрубок для подвода дыма; 4 – блокировочное устройство; 5, 8 – изоляторы высокого напряжения; 6 – рабочий, положительный электрод; 7 – коронирующий, отрицательный электрод; 9 – откидная крышка коптильной камеры.

Устройство для подачи дыма в коптильную камеру изготовлено из трубы (2), торцовые части которой закрыты, а сверху находятся отверстия (более крупные – ближе к краям трубы, более мелкие в центре). Снизу, в середине трубы, находится патрубок (3) для подвода дыма.

Для обеспечения равномерности прокапчивания продуктов, в заводской электростатической установке рекомендуется подавать высокое напряжение на коронирующие электроды не постоянно, а периодически, по мере заполнения коптильной камеры дымом. То есть, подавать высокое напряжение предписывается лишь в том случае, когда коптильный дым полностью заполнит коптильную камеру, и концентрация его станет равномерной. Заполнение дымом камеры определяется визуально, через прозрачную верхнюю крышку, включение в работу источника высокого напряжения производится вручную. Другими словами, качество копченой рыбы напрямую зависит от квалификации оператора-коптильщика, который управляет процессом копчения. Это создает

определенные трудности в работе оператора и в конечном итоге снижает качество готового продукта.

С учетом вышесказанного нами была разработана схема автоматического управления электрокопильной установкой, подающая высокое напряжение на электроды по мере заполнения камеры дымом (рис. 5)⁷.

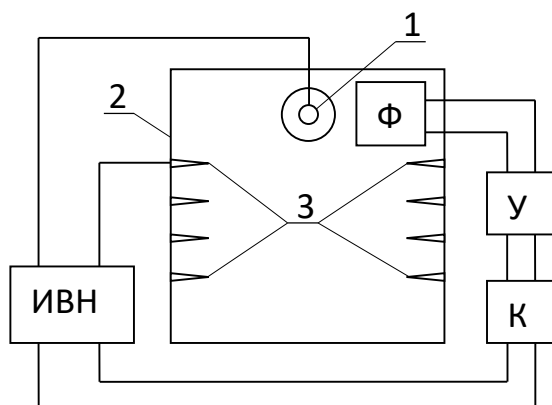


Рис.5. Схема управления электростатической копильной установкой
1 – положительный электрод; 2 – копильная камера; 3 – отрицательный коронирующий электрод; ИВН – источник высокого напряжения; Ф – фотореле; У - усилитель; К – коммутационный аппарат

Схема работает следующим образом: после заполнения копильной камеры дымовоздушной смесью фотореле (Ф), установленное в верхней части камеры, вырабатывает сигнал, который подается на усилитель (У). Сигнал усиливается и воздействует на коммутационный аппарат (К), включающий источник высокого напряжения (ИВН). Последний запускается и в течение 3 (трех) секунд подает высокое напряжение на рабочий (1) и коронирующие электроды (3). Возникает коронный разряд и происходит процесс электростатического копчения продукта, закрепленного на рабочем электроде. По истечении 3 секунд (это время было определено опытным путем: за это время весь дым, находящийся в копильной камере оседает на продукте) происходит

⁷ Селунский В.В., Ракитин А.С. Автоматизация схемы управления установкой электростатического копчения // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых: сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет. 2020. С. 437-441.

автоматическое отключение (ИВН) и камера вновь заполняется дымом, после чего процесс повторяется.

Схема была опробована на копчении мойвы и показала свою работоспособность. На основе экспериментальных исследований был получен график работы модернизированной установки электростатического копчения на базе УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ», при копчении мойвы (рис. 6)⁸.

Анализ графика показывает, продолжительность пауз (время, в течение которого источник высокого напряжения отключен, а камера наполняется дымом) различна. В начале процесса копчения пауза составила $t_{ПН} = 64$ секунды, в конце процесса копчения $t_{ПК} = 40$ секунд. Объясняется это изменением производительности дымогенератора в процессе его работы.

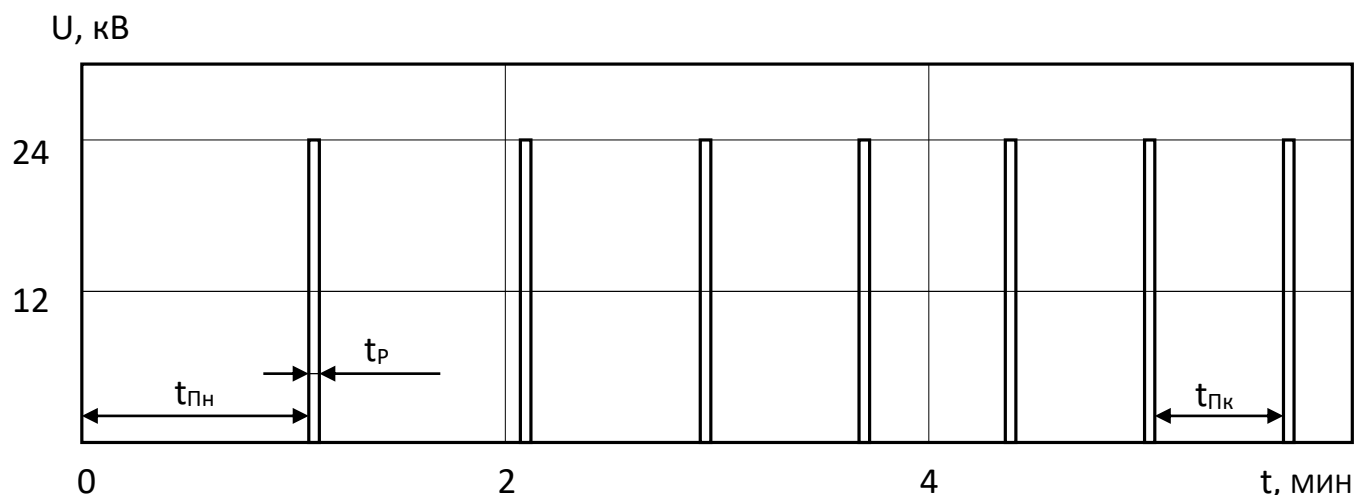


Рис. 6. График работы электростатической установки при копчении мойвы (один цикл копчения)

В свою очередь производительность дымогенератора будет зависеть от многих причин: от вида и свойств дымообразующего сырья, его влажности, степени измельчения, от заполнения дымогенератора, от условий горения, доступа кислорода, температуры окружающего воздуха и др. Поэтому производить включение (ИВН) по графику, аналогичному представленному на (рис. 6), используя программные устройства, не представляется возможным.

⁸ Селунский В.В., Ракитин А.С. Автоматизация схемы управления установкой электростатического копчения // Актуальные проблемы современной науки: взгляд молодых: сборник трудов IX Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Челябинск: ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет. 2020. С. 437-441.

Как показала опытная эксплуатация модернизированной электростатической коптильной установки, время дымовой обработки мойвы составило 6 минут, скумбрии – 25 минут. При этом поверхность рыбы полностью покрывалась коптильными веществами. Однако рыба при этом ещё не была готова к употреблению. Для полной готовности рыбы производилась её выдержка в течение одних суток (для мойвы) и 2...3 суток (для скумбрии) при невысокой температуре (12...18 °С) и относительной влажности не выше 75%. После чего продукт становился готовым к употреблению.

Выводы

1. Обоснована целесообразность электростатического способа производства рыбы холодного копчения. Установлены причины, препятствующие широкому внедрению электростатического копчения в производство.
2. Определены недостатки серийной электростатической коптильной установки УЭК-1 «ИДИЛЛИЯ» при производстве рыбы холодного копчения.
3. Произведена модернизация электростатической установки путем установки дымогенератора новой конструкции и внедрения системы автоматического управления.
4. Произведена проверка усовершенствованной электростатической установки при производстве рыбы холодного копчения и получен положительный результат – продукт с высокими потребительскими качествами.

О ПАРАМЕТРАХ «ОБУЧАЮЩИХ КРИВЫХ», ПРИМЕНЯЮЩИХСЯ ДЛЯ ПРОГНОЗОВ В ЭНЕРГЕТИКЕ

Стефановский А.Б. – к.т.н., доцент, «Таврический государственный агротехнологический университет имени Д. Моторного»

Аннотация

Рассмотрены особенности «обучающих кривых» (зависимостей суммарных удельных капиталовложений в отраслях энергетики от суммарной установленной мощности энергоустановок), опубликованных европейскими исследователями в последние годы. Получены статистические зависимости, описывающие математические параметры этих кривых с учётом особенностей исследованных отраслей энергетики.

В практике экономистов, работающих в разных отраслях народного хозяйства, нашли применение «обучающие кривые», которые (на основе обобщения практических результатов работы предприятий) показывают, как стоимость единицы продукции снижается по мере увеличения её выпуска. По-видимому, впервые такие кривые, применительно к производству самолётов в США, были описаны Т.П. Райтом в 1936 г.¹ Затем отмечалось, что наклон этих кривых зависит от соотношения между сборочными операциями и операциями для изготовления деталей данного вида серийной продукции.

В своём недавнем докладе о возможностях, открываемых «холодным ядерным синтезом» (нетрадиционной областью экспериментальной физики) в энергетике², Ж. Руэр поместил график с рядом «обучающих кривых» (ОК), характеризующих 18 различных отраслей и технологий энергетики и построенных в логарифмических координатах. Ордината последних – суммарные удельные капиталовложения (евро/кВт, в ценах 1999 г.), а абсцисса – суммарная установленная мощность энергоустановок для данной отрасли или технологии. Эти кривые, допускавшие частичную линеаризацию в указанных координатах (с учётом логарифмирования), были заимствованы Ж. Руэром из доклада Европейской комиссии, сделанного ещё в 2003 г., и потому участки кривых, относящихся к 2000–2030 годам, были прогнозными и показанными штриховыми линиями, а практически обоснованы (опытом прошлого столетия)

¹ Hirschmann W. B. Profit from the Learning Curve // Harvard Business Review. January 1964. [Электронный ресурс]. URL: <https://hbr.org/1964/01/profit-from-the-learning-curve> (Дата обращения 31.01.2021)

² Руэр Жак. О переходе к безуглеродной энергетике на основе холодного ядерного синтеза. [Электронный ресурс]. URL: <https://regnum.ru/news/polit/3049598.html> (Дата обращения 31.01.2021)

были участки ОК, показанные сплошными линиями. Так как Ж. Руэр использовал эти кривые лишь для иллюстрации (и выражения надежды, что аналогичная зависимость будет и для «холодного ядерного синтеза» после начала его внедрения в энергетику), то в данной работе проанализированы математические параметры 11 сплошных их участков, представляющих интерес для специалистов-энергетиков. После анализа информации о развитии отраслей энергетики в нынешнем столетии и соответствующей корректировки кривых, аналогичным способом можно будет получить такие параметры и для участков кривых, относящихся к периоду после 2000 г. В этой связи, кратко рассмотрены также работы ^{3,4,5,6}, в которых приведены ОК для солнечной электроэнергетики.

В качестве математической формы или модели для ОК использована степенная функция

$$Y^{\wedge} = aX^b, \quad (1)$$

где знак \wedge указывает на регрессионную зависимость (РЗ); a и b – числовые параметры, определявшиеся для каждой из кривых методом наименьших квадратов и затем округлённые. В табл. 1 приведены значения этих параметров (для коэффициента a – значение его натурального логарифма) и средние значения переменных (Y_m , X_m) для интервалов изменения последних, где была построена данная кривая. Эти средние значения и числовые параметры вычислялись для трёх – пяти точек, выделявшихся в рассматриваемой ОК. Лишь в двух случаях (кривых для ветровой и биомассовой энергетики) показатель степени в (1) пришлось считать переменным. Корреляция между значениями исходных переменных Y и X была чёткой (значения соответствующего коэффициента превышали 0,97), а между значениями Y_m и X_m – незначительная.

По величине Y_m можно судить о стоимостном уровне удельных капиталовложений в данную энерготехнологию: самые дешёвые инвестиции – в газ в комбинированном цикле, а самые дорогие – в солнечное тепло; почти столь же

³ Jamasb T., Koehler J. Learning curves for energy technology: a critical assessment. October 2007. [Электронный ресурс] URL: https://www.researchgate.net/publication/281127416_Learning_Curves_For_Energy_Technology_A_Critical_Assessment (Дата обращения 31.01.2021)

⁴ Zwaan B. van der, Wene C.-O. Developments in interpreting learning curves and applications to energy technology policy // Learning curves. Theory, models, and applications / Edited by M. Y. Jaber. Boca Raton: CRC Press, 2011. P. 425-443.

⁵ T. Wiesenthal [et al.] Technology learning curves for energy policy support. JRC scientific and policy reports, 2012. 32 p.

⁶ Louwen A., Junginger M., Krishnan A. Technological learning in energy modeling: experience curves. Policy brief / REFLEX. Analysis of the European energy system. 2018. 18 p.

дороги капиталовложения в обычную гидроэнергетику, но в ней установленная мощность на три порядка больше.

Табл. 1

Исходные числовые параметры эмпирически обоснованных ОК

Отрасль или технология энергетики		Средние значения переменных		Округлённые числ. параметры		Показатели точности	
Наименование	Обозначение	X_m , МВт	Y_m , евро/кВт	$\ln a$	b	ОСКО	САОП
Газ в комбин. цикле	а	$1,85 \cdot 10^5$	800	8,05	-0,115	0,0085	0,0061
Ветровая	б	10650	1215	10,55	$-0,671 + 0,0307 \cdot \ln X$	0,011	0,0088
Газ	в	$2,5 \cdot 10^5$	1147	7,831	-0,0634	0,0034	0,0023
Уголь камен.	г	$5,35 \cdot 10^5$	1695	8,97	-0,117	0,0155	0,013
Уголь бурый	д	$8,0 \cdot 10^4$	2217	9,20	-0,133	0,0045	0,0035
Биогаз (турбина)	е	15500	2660	10,84	-0,306	0,0058	0,0048
Гидроэнергия маломощная	ж	29500	2517	11,0	-0,3085	0,0032	0,0021
Солнечное тепло	з	410	4033	10,37	-0,348	0,017	0,014
Биомасса (комбин. тепло и электрич.)	и	5200	3330	121	$-25,84 + 1,476 \cdot \ln X$	0,042	0,031
Ядерная энергия	к	$2,35 \cdot 10^5$	3300	8,76	-0,055	0,013	0,010
Гидроэнергия	л	$6,25 \cdot 10^5$	3967	9,876	-0,12	0,0019	0,0015

Обозначения: ОСКО – относительное среднеквадратичное отклонение (отношение последнего к Y_m); САОП – средняя по абсолютной величине относительная погрешность расчёта Y^{\wedge} по (1).

По величине показателя степени, крутизна ОК изменяется от весьма небольшой (для к, в) до значительной (постоянной для е, ж, з и переменной для и).

Исследование регрессионных зависимостей числовых параметров $\ln a$ и $-b$ от различных факторов (средних значений переменных и их функций) показало, что наиболее чёткими они являются, если независимой переменной взять функцию $Y_m X_m^{-0,5}$. Тогда достигается их удовлетворительная линеаризация в полулогарифмических координатах, показавшая расслоение массивов точек на два семейства (рис. 1). Выпавшие точки, помеченные стрелками, относятся к тем ОК, для которых принят переменный показатель степени в (1). Числовые

параметры и показатели точности полученных зависимостей приведены в табл.

2. Видно, что по двучленной формуле с числовыми параметрами a_0 и a_1

$$\{\ln a; -b\} = a_0 + a_1 \ln(Y_m X_m^{-0,5}) \quad (2)$$

показатель степени в (1) можно вычислить с меньшей точностью, чем логарифм коэффициента в (1).

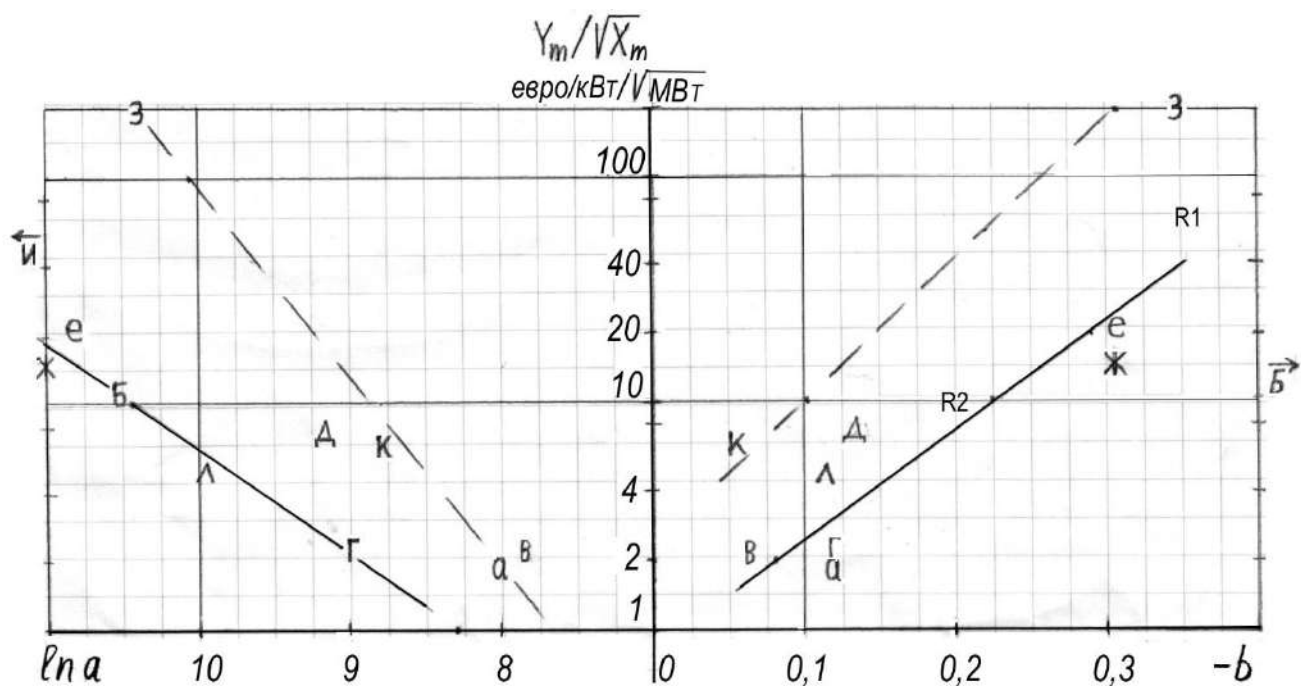


Рис. 1. Регрессионные зависимости математических параметров описания «обучающей кривой» (1) от функции средних значений зависимой и независимой переменных (буквенные обозначения точек, кроме R1 и R2, пояснены в табл. 1; точки и и Б находятся вне области построения)

Табл. 2

Числовые параметры и показатели точности зависимостей на рис. 1

Обозначения точек для семейства отраслей или технологий энергетики	Зависимость (2) для числового параметра в (1)	Округлённые числовые параметры		Показатели точности	
		a_0	a_1	ОСКО	САОП
а, в, к, д, з	$\ln a$	7,70	0,53	0,030	0,021
г, л, б, ж, е	$\ln a$	8,30	0,91	0,019	0,014
к, д, з	$-b$	-0,060	0,07	0,26	0,28
а, г, в, л, ж, е	$-b$	0,017	0,09	0,23	0,26

Кратко охарактеризуем семейства точек на рис. 1, описанных четырьмя регрессионными зависимостями. Энерготехнологии, обозначенные точками а, в, к, д, з, отличаются более слабым влиянием функции $Y_m X_m^{-0,5}$ на $\ln a$, чем технологии, обозначенные точками г, л, б, ж, е. При этом в первой совокупности

точек преобладают традиционные технологии (а, в, к, д), а во второй – нетрадиционные (б, ж, е), и для последних суммарные удельные капиталовложения выше благодаря повышенным значениям a_0 и особенно a_1 . Энерготехнологии, обозначенные точками к, д, з, отличаются более слабым влиянием функции $Y_m X_m^{-0.5}$ на показатель степени b , чем технологии, обозначенные другими точками, но при этом в обеих совокупностях точек преобладают традиционные энерготехнологии (к, д, а, г, в, л), для которых b в среднем близок к $-0,1$. Для нетрадиционных же технологий (ж, е, з) b в среднем близок к $-0,32$, что соответствует большей крутизне соответствующих ОК.

В работе сотрудников Кембриджского университета (выше помеченной сноской ³) сделано предостережение, что использовать ОК для анализа новых технологий нужно с осторожностью. В качестве математической формы для описания ОК предложена степенная функция, похожая на (1). Однако, чтобы избежать чрезмерного снижения расчётных удельных капиталовложений согласно (1), целесообразно назначать их минимальный уровень (англ. “floor cost”). Один из авторов этой работы показал, что функция (1) может сильно преувеличить крутизну действительной зависимости между переменными Y и X : так, для совместной выработки тепла и электроэнергии, солнечной теплоэнергетики, малой гидроэнергетики, морской ветроэнергетики «темп обучения», соответствующий функции $1 - 2^b$, завышается в 8-10 раз.

В работе нидерландских исследователей (выше помеченной ⁴) предложены три различных подхода к ОК – компонентное обучение, обучение во времени и кибернетический подход, которые дополняют друг друга. При первом из них модель (1) заменяется более сложной, получаемой либо суммированием нескольких правых частей (1) для индивидуальных компонентов рассматриваемой продукции, либо прибавлением к правой части (1) постоянного слагаемого, отражающего влияние «необучаемого» компонента в соответствующей технологии. Тогда при увеличении производства продукции достигается ограничение снижения её цены до “floor cost”. При втором подходе модель (1) сохраняет своё значение, и в приведенном примере для развития солнечной электроэнергетики в последние десятилетия XX века показатель степени b близок к $-0,32$ (для нормализованных переменных: Y – относительная стоимость, X – относительное суммарное производство). При третьем подходе рассматривается собственный, внутренне присущий технологии «темп

обучения» (например, 20%) и его возмущения различными факторами. Последние вызывают рассеивание ОК – превращение кривой в полосу – в соответствии с совокупностью собственных значений «темпа обучения»: 20, 7, 4 и 3%. Отмечаются различия ОК, построенных без учёта и с учётом влияния сопутствующих частей и процессов экономики на данную технологию.

В работе сотрудников объединённого исследовательского центра Еврокомиссии (выше помеченной ⁵) рассмотрены возможные приложения одно- и двухфакторных ОК к прогнозам в области новых энерготехнологий. Однофакторная ОК аппроксимируется моделью (1). В приведенном примере для развития солнечной электроэнергетики с 1980 по 2010 г. показатель степени b в этой модели близок к $-0,29$, хотя эмпирические точки заметно колеблются около аппроксимирующей их прямой (в логарифмических координатах: Y – средняя цена модуля, евро/Вт и X – суммарная мощность, МВт) и в некоторые периоды времени, например 1981-82, 1987-90, 2001-02 и 2003-06 гг., фактический показатель степени был неотрицательным. Такой разброс точек особенно силён, когда энерготехнология проходит стадии лабораторных экспериментов, затем – опытных установок и далее предлагается на рынке: в другом примере для твёрдооксидных топливных элементов постадийный «темп обучения» здесь равен 16%, 44% и 5%, а средний кажущийся 27%. Двухфакторная модель ОК была опубликована Н. Куваритакисом и соавторами в 2000 г. ⁷ и отличается от (1) добавочным множителем, отражающим накопленный запас знаний (например, в виде инвестиций в исследования и разработки), возведённый в степень, отличающуюся от b . Однако экономические показатели, отражающие накопление знаний применительно к различным энерготехнологиям, не всегда доступны.

В работе других нидерландских исследователей (выше помеченной ⁶) приводится пример для развития солнечной электроэнергетики, где показатель степени $b = -0,39$ и логарифм коэффициента (1) $\ln a \approx 5,08$, а эмпирические точки колеблются около аппроксимирующей прямой (переменные Y – цена модуля, евро/Вт для 2015 г. и X – суммарная установленная мощность, ГВт), как и в аналогичном вышеупомянутом примере. Также ими приведены значения «темпа обучения» для ряда других энерготехнологий, а также теплонасосных установок

⁷ Kouvaritakis, N., Soria, A., Isoard, S. Modelling energy technology dynamics: methodology for adaptative expectations model with learning-by-doing and learning-by-searching // International Journal of Global Energy Issues. 2000. Vol. 14 (1-4). P. 104–115.

и силовых установок электромобилей. Вычисленные на основе этих значений величины b варьируют в пределах примерно от $-0,35$ до $-0,03$. Так, для солнечной электроэнергетики $b = -0,347$, если рассмотреть сами модули, но $b \approx -0,20$, если анализировать все составляющие затрат на их производство; соответствующие значения $\ln a$ близки к $7,15$ и $1,63$. Для ветровой энергетики (за период 1983 – 2013 г.) колебания эмпирических точек около линий ОК гораздо больше, чем для солнечной. Авторы констатировали, что без общественной поддержки многие нетрадиционные энерготехнологии не могли бы конкурировать с традиционными (и демонстрировать нисходящие тренды соответствующих ОК).

Для настоящей работы представило интерес проверить, можно ли применить регрессионные зависимости (2), позволяющие вычислить показатель степени $-b$ в (1) в функции переменной $Y_m X_m^{-0,5}$, к приведённым в последней из рассмотренных зарубежных работ ОК, относящимся к развитию солнечной электроэнергетики за длительный период времени. Путём группирования изображённых около этих ОК 30...60 эмпирических точек были получены «глобальные» средние значения переменных Y_m и X_m . По ним найдены значения $Y_m X_m^{-0,5}$, равные примерно $1,9$ и $0,31$ евро/Вт/ГВт^{0,5} или $60,5$ и 10 евро/кВт/МВт^{0,5} (в ценах 2015 г., которые несколько выше значений, выраженных в ценах 1999 г.) для самих солнечно-электрических модулей и для общих затрат на их производство, соответственно; на правом графике рис. 1 соответствующие точки обозначены R1 и R2 (буква выбрана от названия REFLEX, встречающегося в работе, выше помеченной ⁶). После подстановки этих значений в (2) установлено, что наиболее близкие к исходным (для изображённых ОК равным около $-0,35$ и $-0,20$) расчётные значения $-b^{\wedge}$ получаются для числовых параметров $a_0 = 0,017$ и $a_1 = 0,09$. Таким образом, зависимость (2) получила независимое подтверждение.

Можно отметить, что метод ОК более надёжен при анализе развития тех энерготехнологий, для которых накоплен достаточный запас количественных технико-экономических данных. Для нетрадиционных же и особенно новых, только вступающих на рынок энерготехнологий применение ОК недостаточно обосновано, вследствие сложности существующей социально-экономической системы, которая влияет на составляющие удельных капиталовложений и стоимости единицы мощности энергоустановок.

ОБОСНОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПЕРЕРАБОТКИ ОТХОДОВ, СОДЕРЖАЩИХ ИОНООБМЕННЫЕ СМОЛЫ (В ТОМ ЧИСЛЕ РАДИОАКТИВНЫЕ) В ЖИДКОМ МЕТАЛЛЕ

Ульянов В.В. – к.т.н., ведущий научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского»

Кошелев М.М. – младший научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского»

Кремлёва В.С. – инженер-исследователь, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского»

Харчук С.Е. – научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И.Лейпунского»

Аннотация

В данной статье рассматриваются возможные технологии переработки отходов, а также предлагается обоснование возможности переработки отходов, содержащие ионообменные смолы, методом беспламенного сжигания ИОС в расплаве свинца.

На сегодняшний день в атомной отрасли одной из глобальных проблем является утилизация радиоактивных отходов. Это проблема не только технического и экономического свойства, но имеет и социальный и политический аспект и для нашей страны, которая предполагает занять 20% мирового рынка строительства атомных электростанций¹. По представлениям генерального директора МАГАТЭ Ю. Аmano к 2030 г. количество радиоактивных отходов возрастет в 2 раза в связи со строительством новых энергоблоков².

Ионный обмен является одним из самых распространенных и эффективных методов переработки ЖРО. В атомной промышленности ИОС применяются для очистки теплоносителя первого контура реакторов от

¹ Дмитриев С.А., Баринов А.С., Батюхнова О.Г. и др. Технологические основы системы управления радиоактивными отходами. М.: ГУП Мос НПО Радон, 2007. 376 с.

² Рахимов Р.З., Рахимова Н.Р., Ожован М.И. Шлакощелочные вяжущие, растворы и бетоны для защиты от экологической и радиационной опасности// Вопросы радиационной безопасности. –2012. № 3. С. 11-17.

радионуклидов на всех АЭС с водяным охлаждением. Для новых АЭС характерно принятие всех возможных технических мер по снижению образования жидких радиоактивных сред, а также по максимально возможной очистке образующихся РАО при помощи ионного обмена, позволяющего переводить их в категорию нерадиоактивных отходов³.

Отработавшие ИОС (ОИОС) представляют собой особый тип гетерогенных радиоактивных отходов низкого или среднего уровня активности (активность смол достигает $10^7 - 10^9$ Бк/м³). Суммарный объем пульпы ОИОС, накопленных на российских АЭС, достигает 30 тыс.м³.

Сокращению объема и локализации ОИОС посвящены национальные программы практически всех стран с развитой энергетикой, в которых предлагается несколько технологий переработки ионообменных смол.

Применительно к ОИОС применяются следующие технологии:

- цементирование;
- битумизация;
- термическая обработка;
- глубокая дезактивация.

Цель переработки пульпы ОИОС, как и других РАО, – сокращение их исходного объема, перевод в устойчивую форму, исключая переход радионуклидов в окружающую среду в условиях долговременного хранения. До настоящего времени в качестве основного метода переработки ОИОС рассматривалось их прямое включение в матричный материал. Включение смол в неорганические и органические матрицы позволяет получить отвержденный продукт с низкой выщелачиваемостью радионуклидов и меньшей мощностью дозы излучения за счет самопоглощения в матрице.

Технология битумирования ОИОС, применявшаяся ранее на ряде АЭС, оказалась неудачной, т. к. получаемый продукт имеет высокую пожароопасность, необходимы большие затраты на его хранение.

Термическое сжигание позволило бы существенно уменьшить объем для последующего хранения или кондиционирования. Однако необходимость организации сложных систем газоочистки от токсичных и коррозионно-активных продуктов, в том числе оксидов серы и азота, возникающих в процессе

³ Бабкин Д.Н, Прохоров Н.А, Сорокин В.Т., Демин А.В. и др. Технология переработки и хранения отработавших ионообменных смол для АЭС нового поколения// Атомная энергия. 2011. Т 111, вып. 4. С. 214-219.

сжигания, значительно повышает стоимость переработки, приводит к образованию большого объема вторичных отходов.

Глубокая дезактивация (регенерация ИОС специально подобранными растворами) – трудоемкий и затратный процесс, который приводит к образованию значительных объемов вторичных ЖРО в виде отработавших дезактивирующих растворов, также требующих переработки и кондиционирования. Вследствие этого на многих предприятиях регенерация и обезвреживание ИОС не предусмотрены, и после истощения обменной емкости ИОС направляют на хранение и далее на захоронение.

Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского» предложен метод переработки отходов, содержащих ионообменные смолы (в том числе радиоактивные) в жидком металле.

Данная статья направлена на представление возможности переработки РАО, содержащими ионообменные смолы, методом беспламенного сжигания ИОС в расплаве свинца. Схема процесса представлена на (рис. 1.).

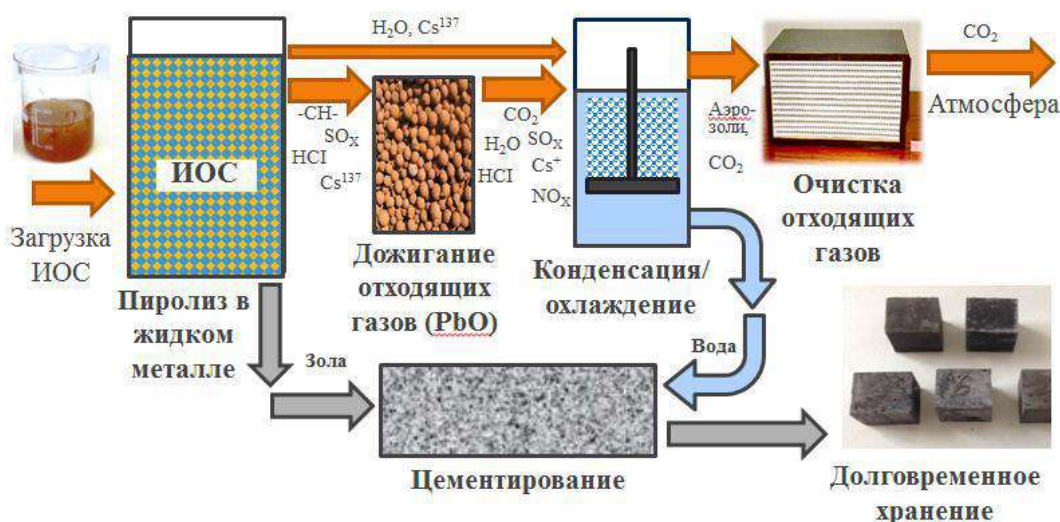


Рис. 1. Схема работы аппарата беспламенного сжигания отработавших ионообменных смол в расплаве свинца и его оксида

Высокая температура кипения свинца ($\sim 1740^\circ\text{C}$) позволяет использовать его в широком диапазоне температурных режимов. Переработки в расплаве

свинца, ускоряют химические процессы деструкции ИОС за счет плотного контакта реагента и высоких параметров теплообмена в реакционной массе⁴.

Схема установки беспламенного сжигания ИОС представлена на рис. 2. Установка состоит: корпус реактора; рамы; кассеты загрузочной; теплоизоляции; крышки реактора; электропривода; громоотвода сильфонного; проставка.

Первый этап является подготовительным. Он необходим для подготовки пульпы ИОС к процессу беспламенного сжигания путем обезвоживания.

На втором этапе процесса с помощью дозирующего устройства перерабатываемые отходы, содержащие ионообменные смолы, подаются в бак-реактор⁵. Вступая в контакт с расплавом свинца, отработавшие смолы подвергаются частичному термическому разложению (пиролизу) и сгоранию с выделением углекислого газа, воды аэрозолей, а также токсичных газов. Вода, содержащаяся в отработавших ионообменных смолах, испаряется, получившийся водяной пар удаляется в узел газоочистки, где происходит его конденсация.

Аэрозоли удерживаются в системе предварительной очистки газов, токсичные газы направляются в узел газоочистки, где происходит их детоксикация и концентрирование. Отходящие горючие газы дожигаются в слое оксида свинца – источника кислорода. Дожигание горючих отходящих газов в атмосфере кислорода (чистого окислителя) позволяет сократить объем вторичных газообразных токсичных отходов – CO₂, воды, аэрозолей, а также токсичных и радиоактивных газов. Несгораемый минеральный остаток (зола) остается на поверхности расплава свинца из-за разницы в плотностях.

⁴ Ульянов В.В., Кошелев М.М., Харчук С.Е., Гулевский В.А., Тимочкин А.В. Исследование закономерностей пиролиза твердых органических полимеров при их нагреве расплавом металла // Нефтехимия. М.: Российская академия наук, 2018. Т. 58, №1. С. 72-79.

⁵ Ульянов В.В., Гулевский В.А., Кошелев М.М., Харчук С.Е., Мельников В.П. Способ переработки отходов из резинотехнических и полимерных материалов // Патент RUS 2672295, 2017.

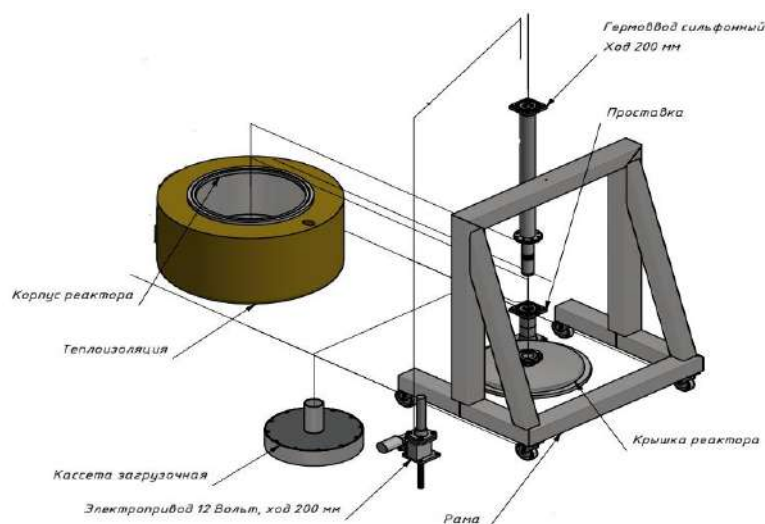


Рис. 2. Узел беспламенного сжигания отработавших ионообменных смол

Аппарат, реализующий пиролиз и пирогидролит отработавших ионообменных смол, является компактным и осуществляет переработку ИОС в условиях одновременного термического и механического воздействия на перерабатываемые ионообменные смолы.

Пиролиз и пирогидролит отработанных ИОС реализуются в условиях перемешивания и нагрева в реакторе со свинцовым теплоносителем при температуре до 800 °С. Зольный остаток удерживает всю радиоактивность и подлежит утилизации как среднеактивные отходы.

Пиролизат, полученный при переработке низкоактивных ионообменных смол, может подвергаться прессованию, в то время как конечный продукт переработки, относящийся к категории среднеактивных отходов целесообразно цементировать.

Предусмотрено цементирование пиролизата в бочках, что гарантирует его равномерное распределение в цементной матрице и одновременно обеспечивает высокую устойчивость к выщелачиванию и механическим воздействиям. Цементирование в бочках позволяет уменьшить объем отходов, идущих на захоронение, по сравнению с традиционными методами прямого цементирования.

Кроме того, в системе необходим узел дожигания отходящих газов (рис. 3), который предназначен для окисления продуктов беспламенного сжигания (пиролиза) ИОС.

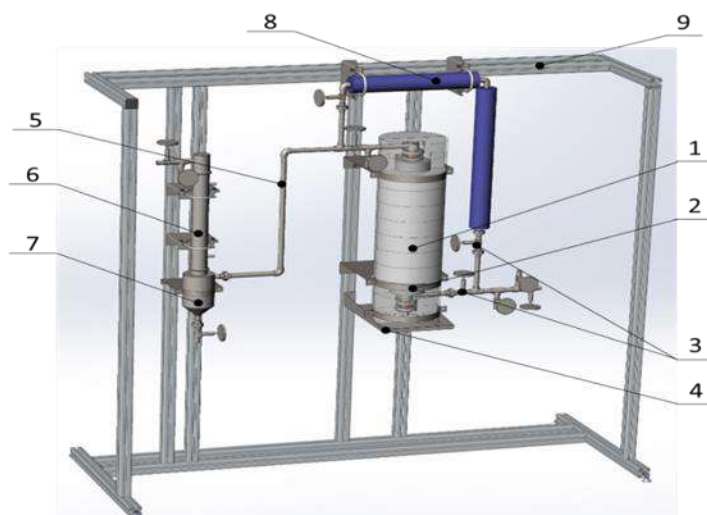


Рис. 3. Узел дожигания отходящих газов

- 1 – реакционная емкость; 2 – кронштейн стеновой; 3 – кран запорный;
 4 – полка; 5 – трубопровод, соединяющий выход реакционной емкости и вход
 холодильника; 6 – холодильник кожухотрубный; 7 – дренажная емкость;
 8 – трубопровод байпасный; 9 – рама

Реакционная емкость содержит твердый окислитель (засыпку из гранул оксида металла или смеси оксидов), предназначенный для окисления (дожигания) горючих токсичных газообразных продуктов пиролиза, отработанных ИОС. Процесс дожигания отходящих газов основан на химической реакции восстановления оксида металла⁶. Возможно, последующее обратимое окисление отработанных гранул засыпки газообразным кислородом или воздухом для восстановления исходных свойств.

Твердый окислитель размещается в перфорированных корзинах, который располагаются вертикально друг над другом внутри реакционной емкости. Корзины устанавливаются на съемный упор

Съемный упор предназначен для организации движения потока газообразных продуктов пиролиза ИОС снизу перфорированных корзин⁷. Съемный упор представляет собой трубку с отверстием, которое совпадает с входным патрубком и позволяет газообразным продуктам пиролиза попасть во внутрь реакционной емкости.

⁶ Басманов П.И., Кириченко В.Н., Филатов Ю.Н., Юров Ю.Л. Высокоэффективная очистка газов от аэрозолей фильтрами Петрянова. М.: Наука, 2003. 271 с.

⁷ Сборник докладов Первой Международной межотраслевой конференции по вопросам очистки газов предприятий энергетики, черной и цветной металлургии и промышленности строительных материалов// «Пылегазоочистка 2008». Москва: ООО «ИНТЕХЭКО», 2008. 95 с.

Загрузка корзин с твердым окислителем и съемного упора осуществляется снизу реакционной емкости.

Реакционная емкость также оснащена:

- электрическим нагревателем;
- теплоизоляцией;
- термоэлектрическими преобразователями;
- нижним и верхним фланцами.

Под реакционной емкостью предусмотрена подвижная полка, предназначенная для фиксации теплоизоляции в процессе эксплуатации и позволяющая обеспечить доступ к нижнему фланцу при обслуживании узла дожигания

В таблице 1 представлены технические параметры узла дожигания отходящих газов.

Табл. 1

Технические параметры

Наименование параметра	Значение
Рабочая среда	Газообразные продукты пиролиза ионообменной смолы
Диапазон рабочих температур, °С	До 900
Наполнитель реакционной емкости	Твердый окислитель (оксид металла или смесь оксидов в виде порошка или гранул)

Таким образом, учитывая вышеизложенное обоснование возможности переработки отходов, содержащие ионообменные смолы путем переработки в высокотемпературном расплаве жидких металлов с дожиганием и очисткой отходящих газов и последующей иммобилизацией зольного остатка является можно рассматривать как один из наиболее перспективных методов переработки ИОС.

АНАЛИЗ НАКОПЛЕНИЯ ШЛАКОВ НА ОСНОВЕ ОКСИДА СВИНЦА ПРИ ПОПАДАНИИ ГАЗООБРАЗНОГО КИСЛОРОДА В ЦИРКУЛЯЦИОННЫЕ КОНТУРА РЕАКТОРНЫХ УСТАНОВОК СО СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИМИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯМИ

Ульянов В.В. – к.т.н., ведущий научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Кошелев М.М. – младший научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Кремлёва В.С. – инженер-исследователь, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Харчук С.Е. – научный сотрудник, АО «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Аннотация

Проведен расчетный анализ закономерностей накопления шлаков при взаимодействии свинцового и свинцововисмутного теплоносителей с газообразным кислородом. Экспериментально выявлено, что при взаимодействии с газообразным кислородом сплав свинца и висмута окисляется в 1,7 раза интенсивнее свинца. Избыточное давление инертного газа при разгерметизации не предотвращает поступление в контур кислорода воздуха. Кислород поглощается контуром, поэтому важно контролировать азот в газовых объемах контуров реакторных установок со свинецсодержащими теплоносителями.

Выбор жидких металлов в качестве теплоносителей ядерных реакторов, объясним их свойствами. При течении жидкостей в трубах передача тепла осуществляется за счет турбулентного перемешивания потока и путём молекулярной теплопроводности. Жидкие металлы обладают лучшей по сравнению с другими теплоносителями молекулярной теплопроводностью, что определяет их преимущества как теплоносителей. Наиболее комплексно на сегодняшний день обоснованы в качестве теплоносителей натрий,

свинцововисмутовая эвтектика и свинец¹, среди которых два последних относят к свинецсодержащим².

Свинцовый теплоноситель не имеет опыта эксплуатации в реакторных установках, а БРЕСТ-ОД-300³ имеет перспективу стать первенцем. Свинцововисмутовая эвтектика успешно применялась в реакторах атомных подводных лодок проектов 705 и 705К, которые в отличие от опытной подводной лодки К-27⁴ успешно отработали заложенный ресурс. В результате их эксплуатации ни одна из девяти реакторных установок не была выведена из строя вследствие чрезмерного шлаконакопления при общей наработке 80 реакторолет. Однако современные подходы к безопасности реакторов, баковая компоновка первого контура и необходимость длительной работы с достижением максимального коэффициента использования установленной мощности требуют поддержания проектных теплогидравлических характеристик циркуляционных контуров со свинецсодержащими теплоносителями на научно обоснованном уровне⁵.

Применительно к шлакам на основе оксидов компонентов теплоносителей необходимо минимизировать пути их поступления и объем накопления, а также оптимизировать методы очистки от шлаков, избежать появления которых не удалось⁶.

Расчетное исследование последствий взаимодействия свинецсодержащих теплоносителей с газообразным кислородом

Образование твердого оксида свинца, являющегося шлакообразующей примесью, в свинецсодержащих теплоносителях возможно только при попадании в них кислородосодержащих соединений, в первую очередь,

¹ Pioro I., Duffey R.B., Kirillov P.L. Current Status and future developments in nuclear-power industry of the world // Journal of nuclear engineering and radiation science, vol.5, № 2, 2019, 27 p. DOI: 10.1115/1.4042194.

² Адамов Е.О., Мартынов П.Н., Рачков В.И., Сорокин А.П. К вопросу о выборе теплоносителя ЯЭУ естественной безопасности // Известия российской академии наук. Энергетика. 2015. № 6. С. 3-14.

³ Драгунов Ю.Г., Лемехов В.В., Моисеев А.В., Смирнов В.С. Реактор на быстрых нейтронах со свинцовым теплоносителем (БРЕСТ) // Проблемы машиностроения и автоматизации. 2015. № 3. С. 97-103.

⁴ Ефанов А.Д., Иванов К.Д., Мартынов П.Н., Орлов Ю.И. Технология свинцово-висмутового теплоносителя на ЯЭУ первого и второго поколений // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2007. № 1. С. 138-144.

⁵ Гулевский В.А., Орлов Ю.И., Ефанов А.Д. Гидродинамические, физико-химические и технологические аспекты использования жидких металлов в ЯЭУ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика ядерных реакторов. 2008. Выпуск 4. С. 15-33.

⁶ Мартынов П.Н., Рачков В.И., Асхадуллин Р.Ш. Анализ современного состояния технологии свинцового и свинцово-висмутового теплоносителей // Атомная энергия. 2014. Т. 16. № 4. С. 234-240.

кислорода воздуха при разгерметизации контура⁷. Это подтверждается термодинамическим анализом реакций взаимодействия компонентов теплоносителя с газообразным кислородом. Движущая сила реакции образования оксида свинца определяется фактическим изменением энергии Гиббса ΔG для конкретных условий взаимодействия⁸:

$$\Delta G = -219003 + 100.4 \cdot T + R \cdot T \cdot \ln \frac{a_{PbO}}{a_{Pb} \cdot P_{O_2}^{1/2}} \quad (1)$$

где T – температура, К; R – универсальная газовая постоянная; P_{O_2} – парциальное давление кислорода в зоне реакции, атм; a_{Pb} – активность свинца; a_{PbO} – активность оксида свинца, часто называемая термодинамической активностью растворенного кислорода.

На рис. 1 приведена зависимость (1) при переменном значении a_{PbO} , постоянном значении a_{Pb} , температуре 420 °С (среднесмешанная температура на входе в активную зону в наиболее проработанном проекте реактора со свинецсодержащим теплоносителем типа БРЕСТ) и парциальном давлении кислорода $0,21 \cdot 10^5$ Па. Видно, что при уменьшении активности оксида свинца в свинецсодержащих теплоносителях от $a_{PbO} = 1$ до $a_{PbO} = 10^{-6}$ возможность протекания процесса окисления возрастает, т.к. величина энергии Гиббса для свинцового теплоносителя изменяется от -145 кДж/моль до -224 кДж/моль. Также видно, что в определенных условиях изменения энергии Гиббса при окислении свинецсодержащих теплоносителей и стандартные изменения энергии Гиббса при окислении железа, никеля или хрома совпадают. Это означает, что в точках совпадений окисление свинецсодержащих теплоносителей и окисление металла из состава конструкционной стали равновероятны. Например, окисление свинцового теплоносителя при $a_{PbO} \geq 10^{-6}$ и окисление железа с образованием твердого оксида железа ($a_{Fe} \approx a_{Fe_3O_4} \approx 1$) имеют одинаковое термодинамическое обоснование. Существенное увеличение активности растворенного оксида свинца в свинецсодержащих теплоносителях приведет к более глубокому окислению примеси железа до оксида железа. Следовательно, обеспечивая в теплоносителе запас

⁷ Orlov Yu.I., Efanov A.D., Martynov P.N., Gulevsky V.A. and oth. Hydrodynamic problems of heavy liquid metal coolants technology in loop-type and monoblock-type reactor installations // Nuclear engineering and design. 2007. Volume 237, Issues 15-17. Pp. 1829-1837.

⁸ Handbook on Lead-bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies // OECD/NEA Nuclear Science Committee, 2007. 693 p. ISBN 978-92-64-99002-9.

растворенного оксида свинца, можно избирательно окислять примеси металлов до их оксидов в твердой фазе, выводя примеси из контура без образования шлака на основе оксида свинца.

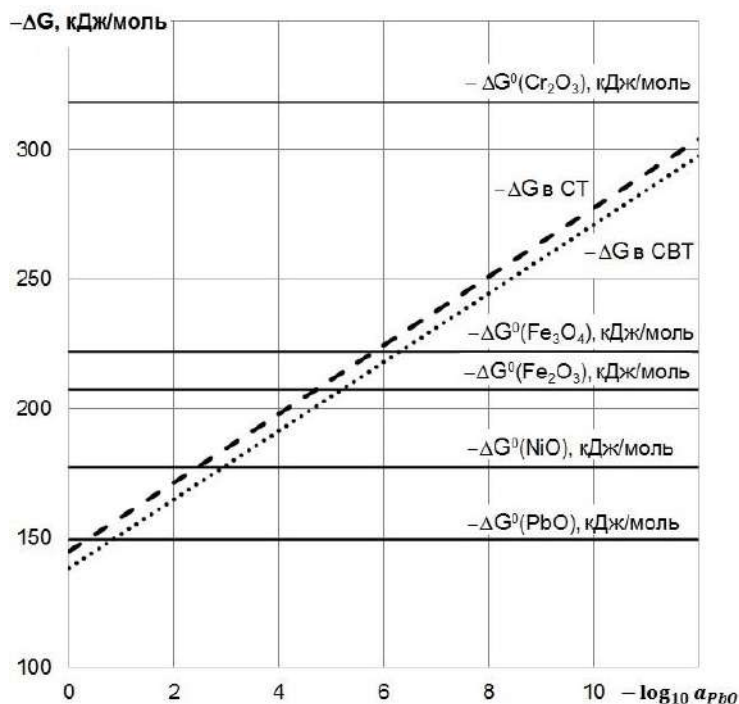


Рис. 1. Зависимость фактического изменения энергии Гиббса от активности растворенного оксида свинца в свинцовом ($-\Delta G$ в СТ) и свинцововисмутовом ($-\Delta G$ в СВТ) теплоносителях при окислении газообразным кислородом воздуха при температуре 420°C

Если же кислорода окажется избыток, то образование твердого PbO неизбежно. Состав шлаков, образовавшихся при эксплуатации циркуляционных контуров со свинцововисмутовым теплоносителем, приведен в табл. 1⁹. Пересчет содержания кислорода на оксид свинца показывает, что PbO составляет от 33 до 55 % мас. Остальное составляют компоненты теплоносителя и конструкционных сталей. Принципиальное отличие наблюдалось только для шлаков из стенда 27/ВТ, т.к. помимо вышеперечисленных элементов в их состав входило 2 % мас. Mg , что связано с экспериментом по защите конструкционных материалов стенда коррозионностойкой пленкой из магниево-циркониевой лигатуры. Сначала для подготовки поверхности в теплоноситель был введен Mg , имеющий

⁹ Ulyanov V.V., Gulevsky V.A., Storozhenko A.N., Teplyakov Y.A. Control of oxidizing potential of Pb and Pb-Bi coolants // Oriental Journal of Chemistry. 2015. Vol. 31. № 4. Pp. 2059-2069.

большее сродство к кислороду, чем Pb и Bi. Однако взаимодействие Mg с водяным паром, присутствовавшим в первом контуре из-за практически постоянной течи парогенераторов, вызвало интенсивную генерацию водорода. Это вынудило отказаться от завершения эксперимента, но введенный в теплоноситель Mg постепенно вышлаковывался в результате взаимодействия с влагой в виде невосстанавливаемого водородом шлака.

Табл. 1

Состав шлаков, образовавшихся при эксплуатации исследовательских стендов

Место образования шлака	Содержание элементов в шлаке, %мас.					
	O	Pb	Bi	Fe	Cr	Ni
Стенд ТТ-2М ФЭИ, тупиковый участок трубопровода	2,4	51,6	46,4	$4 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$
Стенд СВТ-3М ФЭИ, внутренняя стенка проточного трубопровода	3,5	55,9	39,5	$4,2 \cdot 10^{-1}$	$1,5 \cdot 10^{-1}$	$9,5 \cdot 10^{-2}$
Стенд испытаний насосов ВНИИАМ, стенка бака насоса	3,9	51,9	42,1	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$2,4 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-3}$
Стенд испытаний насосов ВНИИАМ, стенка напорного трубопровода	6,5	76,0	14,2	$2,6 \cdot 10^{-2}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Стенд-прототип 27/ВТ ФЭИ, коллектор на входе в активную зону	3,6	63,4	24,8	1,8	$8,6 \cdot 10^{-2}$	$7,0 \cdot 10^{-2}$

Экспериментальные исследования процессов взаимодействия свинецсодержащих теплоносителей с газообразным кислородом

Учитывая малую изученность окисления свинца и висмута на воздухе¹⁰, были экспериментально исследованы закономерности сравнительного окисления свинецсодержащих теплоносителей. Закономерности окисления изучались на установке, схема которой приведена на рис. 2.

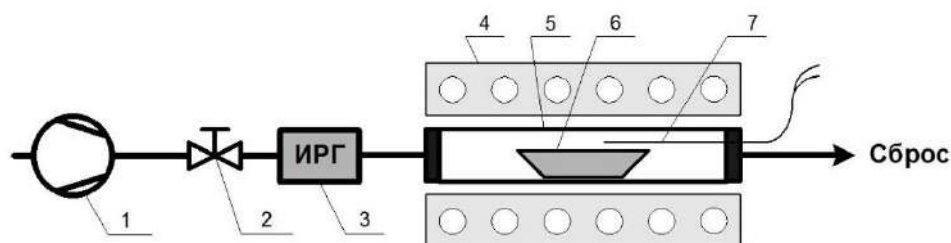


Рис. 2. Схема установки исследования закономерностей окисления свинецсодержащих теплоносителей

¹⁰ Белоусова Н.В., Денисов В.М., Истомин С.А. и др. Взаимодействие жидких металлов и сплавов с кислородом // Монография. Имет УРО РАН. 2004. 288 с. ISSN 5-7691-1531-9.

Основным узлом установки является реакционная камера 5, внутри которой размещается алундовый тигель 6 с исследуемыми образцами металла или сплава. Реакционная камера оборудована термопарой 7 и размещена в электрической печи 4, позволяющей управляемо поддерживать температуру от 20 до 700°C. Компрессор 1 позволяет продувать через реакционную камеру воздух, а вентиль 2 и индикатор расхода газа 3 позволяют контролировать расход газовых смесей через реакционную камеру. Измерения массы образцов металла проводилось лабораторными весами с точностью $\pm 0,01$ г.

Эксперименты проводились в два этапа: на первом сравнивалось окисление свинца и свинцововисмутовой эвтектики, на втором этапе сравнивалось окисление свинца, свинцововисмутовой эвтектики и висмута.

Методика проведения экспериментов первого этапа была следующей: 1) взвешивание исходного образца свинца (или свинцововисмутовой эвтектики) и тигля, определение площади поверхности образца свинца; 2) помещение образца свинца (или свинцововисмутовой эвтектики) в тигле в реакционную камеру, подъем температуры до 535 ± 5 °C; 3) включение компрессора, продувание реакционной камеры воздухом в течение заданного времени; 4) выключение компрессора, охлаждение реакционной камеры; 5) взвешивание образца свинца (или свинцововисмутовой эвтектики); 6) повторение 2)-5). В результате эксперимента было выявлено, что свинцововисмутовая эвтектика окисляется на воздухе в $\sim 1,7$ раза интенсивнее свинца, что видно из рис. 3.

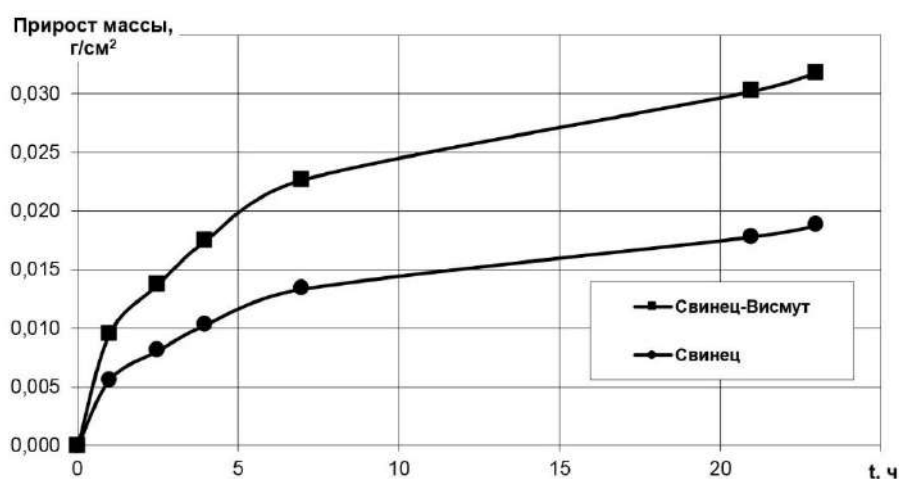


Рис. 3. Зависимость прироста массы с единичной поверхности от времени при окислении свинца и свинцововисмутовой эвтектики на воздухе ($T = 535$ °C)

Для установления причины выявленной зависимости во втором этапе экспериментов дополнительно помимо свинца и свинцововисмутовой эвтектики исследовали также образец висмута. Методика проведения экспериментов второго этапа была следующей: 1) взвешивание исходного образца свинца (или свинцововисмутовой эвтектики, или висмута) и тигля, определение площади поверхности образца свинца(или свинцововисмутовой эвтектики, или висмута); 2) помещение образца в тигле в реакционную камеру и ее разогрев до 420 °С; 3) включение компрессора, продувание реакционной камеры воздухом 19ч; 4) выключение компрессора, охлаждение реакционной камеры; 5) взвешивание образца свинца (или свинцововисмутовой эвтектики, или висмута); б) повторение пунктов 1-5 при 535 °С. После окончания эксперимента все исследованные образцы были восстановлены водородом аналогично известной методике¹¹ для определения массы поглощенного кислорода по массе выведенной воды. Полученные значения сошлись с точностью до ±0,01г с результатами взвешивания, что подтверждает их достоверность. Температуры экспериментов были выбраны с учетом данных о реакторе БРЕСТ-ОД-300: среднесмешанная температура на входе в активную зону составляет 420 °С, а на входе в парогенераторы она составляет 535 °С. Результаты второго этапа эксперимента приведены в табл. 2. Видно, что свинцововисмутовая эвтектика окисляется интенсивнее свинца из-за присутствия висмута. Висмут же окисляется наиболее интенсивно.

Табл. 2

Закономерность окисления свинца, висмута и сплава из равных массовых долей свинца и висмута при температурах 420 и 535 °С за 19ч

Вид образца	Удельная масса поглощенного кислорода при 420°С, г/см ²	Удельная масса поглощенного кислорода при 535°С, г/см ²
Свинец	$1,09 \cdot 10^{-2}$	$3,64 \cdot 10^{-2}$
Свинцововисмутовая эвтектика	$1,95 \cdot 10^{-2}$	$4,87 \cdot 10^{-2}$
Висмут	$2,27 \cdot 10^{-2}$	$6,17 \cdot 10^{-2}$

Учитывая, что для ряда работ, например, при перегрузке элементов активной зоны, разгерметизация контура неизбежна, можно предположить уменьшение попадания воздуха в контур за счет поддержания избыточного

¹¹ Иванов И.И., Шелеметьев В.М., Ульянов В.В., Тепляков Ю.А. Кинетика восстановления водородом свинца из его оксидов ромбической и тетрагональной модификации // *Кинетика и катализ*. 2015. №. 3. С. 1-5.

давления инертного газа в контуре, т. е. организации течи газа из контура в атмосферу. Похожие решения нашли применение, например, при регулировании фронта испарения многоатомных жидкостей¹², но эффект Кнудсена, наличие термодиффузии и бародиффузии заставляют усомниться в эффективности поддержания избыточного давления для минимизации образования шлаков на основе оксида свинца.

Экспериментальное исследование натекания газов на противодействие проведено на стенде ТТ-2М, схема которого приведена на рис. 4, путем ослабления прокладки во фланце специально организованного тупикового газового трубопровода с индикатором расхода газа. В результате достигалась негерметичность контура с контролируемой течью аргона из контура. Основные узлы стенда ТТ-2М: 1 – циркуляционный насос; 2 – рекуперативные теплообменные аппараты; 3 – нагреватель, имитирующий активную зону; 4 – холодильник, имитирующий парогенератор; 5 – индикатор расхода теплоносителя; 6 – компенсатор изменения объема теплоносителя; 7 – подключение газового контура к системе подачи газов и вакууму; 8 – система контроля состава газа¹³; 9 – жидкометаллические вентили; 10 – газовые вентили; 11 – датчики активности кислорода¹⁴; 12 – накопительная емкость для хранения и плавления теплоносителя; 13 – индикатор расхода газа. Позицией 14 обозначено направление течения теплоносителя по контуру.

¹² Cercignani C. Numerical study of the strong evaporation of a binary mixture // Fluid Dynamics Research. Volume 8, Issue 5-6. 1991. p. 175-187.

¹³ Иванов И.И., Стороженко А.Н., Ульянов В.В. Изучение работы твердоэлектродного датчика кислорода в газах в условиях, имитирующих процессы водородной очистки циркуляционных контуров перспективных РУ с тяжелыми жидкометаллическими теплоносителями // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2013. № 4. С. 45-50.

¹⁴ Мартынов П.Н., Асхадуллин Р.Ш., Стороженко А.Н. Особенности метрологической поверки датчиков активности кислорода в жидкометаллических теплоносителях // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2012. № 3. С. 68-74.

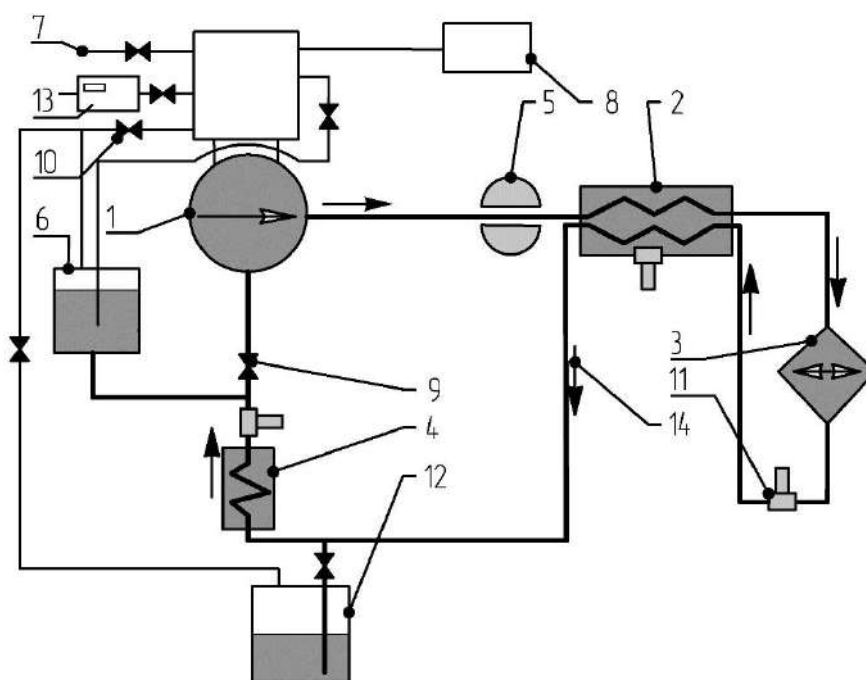


Рис. 4. Схема циркуляционного контура стенда ТТ-2М

В ходе эксперимента варьировали температуру, наличие или отсутствие теплоносителя в контуре. Избыточное давление аргона в газовом контуре составляло от $1 \cdot 10^4$ до $5 \cdot 10^4$ Па, а изменение состава газовой фазы при этом наблюдалось во всех режимах. Хроматографом «Кристалл-5000» контролировался состав газовой смеси в контуре. По изменению концентрации азота в контуре определяли поток азота в контур, по изменению концентрации кислорода определяли факт поглощения кислорода контуром. Выявлено, что зависимость потока азота в контур от потока аргона из контура близка к линейной:

$$Q_{N_2} = 0,032 \times Q_{Ar} \quad (2)$$

где Q_{N_2} , Q_{Ar} – поток азота в контур и поток аргона из контура, соответственно, л/ч.

При 19°C увеличивалось содержание и азота, и кислорода в соотношениях близких к их соотношению в воздухе. При 240°C и 320°C доля кислорода стабилизировалась на уровне $0,02\%$ об., что указывает на поглощение кислорода при повышенных температурах материалами контура и теплоносителем. То есть подтверждено натекание воздуха в контур на противодействие, причем достоверна его оценка по изменению содержания азота из-за поглощения кислорода теплоносителем и поверхностями контура. Оценить натекание кислорода можно по уравнению:

$$Q_{O_2} = (Q_{N_2} \times C_{O_2})/C_{N_2} = (Q_{N_2} \times 20,95)/78,08 = 0,27 \times Q_{N_2} \quad (3)$$

где Q_{N_2} , Q_{O_2} – потоки азота и кислорода в контур, л/ч; C_{O_2} , C_{N_2} – содержание кислорода и азота в воздухе, %об.

Выводы. Проведен расчетно-экспериментальный анализ накопления шлаков на основе оксида свинца при попадании газообразного кислорода в циркуляционные контура со свинецсодержащими теплоносителями. В свинецсодержащих теплоносителях при контакте с газообразным кислородом будет образовываться шлакообразующая примесь оксида свинца. Контролируемо обеспечивая в теплоносителе запас растворенного оксида свинца, можно избирательно окислять примеси металлов до их оксидов в твердой фазе, выводя примеси из контура без образования твердого оксида свинца.

При разгерметизации свинцововисмутовая эвтектика окисляется в 1,7 раза интенсивнее свинца, что объясняется наличием в сплаве висмута. Висмут окисляется интенсивнее свинца и свинцововисмутовой эвтектики.

Избыточное давление инертного газа при разгерметизации не предотвращает поступления в контур атмосферного кислорода, в этом случае контроль азота в контуре позволит своевременно сигнализировать о поступлении кислорода в контур и, соответственно, позволит провести необходимые мероприятия по исключению или уменьшению масштабов образования шлаков. Поэтому важно контролировать азот в газовых объемах контуров реакторных и исследовательских установок со свинецсодержащими теплоносителями.

Авторы выражают благодарность Российскому фонду фундаментальных исследований, при поддержке которого (проект № 19-48-400003) выполняется обоснование технологии свинецсодержащих теплоносителей в теплообменных аппаратах различного назначения.

ИЗУЧЕНИЕ ВЛИЯНИЯ МИКРОТЕЧЕЙ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ НА СОСТОЯНИЕ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК СО СВИНЕЦСОДЕРЖАЩИМ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕМ

Харчук С.Е. – научный сотрудник, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Ульянов В.В. – ведущий научный сотрудник, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Кошелев М.М. – младший научный сотрудник, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Кремлёва В.С. – инженер-исследователь, Акционерное общество «Государственный научный центр Российской Федерации – Физико-энергетический институт имени А.И. Лейпунского»

Аннотация

В работе приведены результаты расчетных исследований процессов взаимодействия свинецсодержащих расплавов с водой и паросодержащими газовыми смесями. Показано влияние такого взаимодействия на состояние жидкого металла. Описаны необходимые условия для нормальной эксплуатации контуров со свинецсодержащими расплавами.

В настоящее время для ядерной энергетики обосновывается возможность применения свинца и эвтектического сплава Pb-Bi в качестве теплоносителей перспективных установок¹. Для этих целей проводятся расчетные и экспериментальные исследования процессов, протекающих как при нормальной эксплуатации, так и при отклонении от проектных режимов, в том числе и при аварийных. Среди таких процессов не последнее место занимает взаимодействие свинецсодержащего теплоносителя с водой и водяным паром. Это взаимодействие может происходить в следующих случаях:

¹ Асхадуллин Р.Ш., Стороженко А.Н., Мельников В.П., Легких А.Ю., Ульянов В.В. Обеспечение технологии тяжёлого жидкометаллического теплоносителя в реакторных установках нового поколения // Вопросы атомной науки и техники. 2018. № 4. С. 89; Ульянов В.В., Мартынов П.Н., Гулевский В.А., Фомин А.С., Тепляков Ю.А. Исследование процессов и устройств водородной очистки применительно к циркуляционным контурам с тяжёлыми жидкометаллическими теплоносителями // Известия высших учебных заведений. Ядерная энергетика. 2013. № 2. С. 33-38.

- на начальной стадии эксплуатации вследствие десорбции влаги с поверхности используемого сырья;
- при реализации процессов обеспечения качества теплоносителя, когда происходит обработка теплоносителя пароводяной смесью;
- при наличии неплотностей парогенераторов (при микротечах парогенератора).

Последний возможный вариант взаимодействия наиболее важен, в силу того, что на сегодняшний день вызывает сомнение возможность создания абсолютно герметичные парогенераторы сложной конструкции с большой поверхностью теплообмена.

Для прогнозирования возможных сценариев протекания вышеуказанных процессов, а также предотвращения их интенсификации проводится цикл расчетных и экспериментальных исследований.

В свинце без применения методов и средств поддержания качества теплоносителя могут растворяться очень многие химические элементы и соединения, в том числе и компоненты конструкционных материалов. Предотвращение растворения материалов осуществляется за счет наличия на поверхностях сталей оксидных пленок на основе Fe_3O_4 ². При отсутствии в контуре интенсивных источников кислорода в процессе его эксплуатации происходит раскисление свинецсодержащего расплава. Диффундирующие через защитные оксидные покрытия компоненты конструкционных материалов, в первую очередь железо, взаимодействуют с растворенным в теплоносителе кислородом. Концентрация последнего уменьшается, ухудшаются термодинамические условия для формирования покрытий, их «залечивания» (устранения дефектов покрытий, возникающих из-за механических, термических и других воздействий). Интенсифицируются растворение, коррозия материалов, перенос масс и другие процессы, отрицательно влияющие на состояние контура. Для предотвращения чрезмерного раскисления теплоносителя необходимо проведение целенаправленного и тщательно контролируемого окисления теплоносителя, так называемого регулирования термодинамической активности кислорода.

² Ульянов В.В., Гулевский В.А., Мартынов П.Н., Орлов Ю.И., Фомин А.С. Водородная очистка поверхностей циркуляционных контуров в моноблочных РУ с теплоносителями Pb-Bi и Pb // Новые промышленные технологии. 2011. № 1. С. 18.

Избыток кислорода в свинецсодержащих расплавы также может приводить к негативным последствиям, т. к. они заметно взаимодействуют с кислородом и кислородсодержащими газами. При этом могут образовываться шлаки (фазы, содержащие оксиды самого расплава, компонентов конструкционных сталей и др.)³. Шлаки могут отлагаться на поверхностях контура, ухудшать его теплогидравлические характеристики. Для предотвращения отложений шлаков проводят периодическую или постоянную очистку расплава и поверхностей контура с помощью водородной регенерации и фильтрации свинецсодержащего расплава. Эти мероприятия включают в себя контролируемые процессы раскисления теплоносителя и удаления из него и с поверхностей контура различных оксидных соединений.

Таким образом, одним из главных факторов, влияющих на интенсивность и направление процессов массопереноса в циркуляционных контурах с теплоносителями Рb и Рb-Вi, является количество кислорода в контуре. Избыток его приводит к зашлаковке контуров и ухудшению их тепловых и гидравлических характеристик. Недостаток – к диссоциации защитных оксидных покрытий на конструкционных материалах и развитию коррозионных процессов. Поэтому нормальная эксплуатация контуров возможна лишь при поддержании строго заданного оптимального диапазона значений концентрации (активности) кислорода в теплоносителе⁴. При соблюдении этого условия интенсивность процессов массопереноса минимальна.

Взаимодействие свинецсодержащего теплоносителя с водой влияет на кислородный режим этой системы, который определяется особенностями термодинамики протекающих процессов. Для контроля термодинамического состояния свинецсодержащего теплоносителя используются следующие параметры: концентрация растворенного в теплоносителе кислорода (C) и термодинамическая активность кислорода (a_0). Эти параметры связаны следующим образом:

$$a_0 = \frac{C}{C_s} \quad (1)$$

³ Ульянов В.В., Мартынов П.Н., Гулевский В.А., Тепляков Ю.А., Фомин А.С., Иванов И.И. Водородная очистка ТЖМТ // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Ядерно-реакторные константы. 2015. № 2. С. 88-101.

⁴ Асхадуллин Р.Ш., Мартынов П.Н., Рачков В.И., Легких А.Ю., Стороженко А.Н., Ульянов В.В., Гулевский В.А. Контроль и регулирование содержания кислорода в тяжелых жидкометаллических теплоносителях для противокоррозионной защиты сталей // Теплофизика высоких температур. 2016. Т. 54. № 4. С. 595-604.

где C_s – концентрация насыщения свинецсодержащего расплава кислородом, определяемая зависимостями:

$$\lg C_s = 1.2 - \frac{3400}{T}, \text{ мас. \%}, \text{ для эвтектики Pb-Bi} \quad (2)$$

$$\lg C_s = 3.44 - \frac{5240}{T}, \text{ мас. \%}, \text{ для свинца} \quad (3)$$

Уравнениями (1) – (3) определяется связь a_0 и T при заданных значениях концентрации кислорода C .

В ходе экспериментальных исследований физхимии свинецсодержащих расплавов для определения концентрации растворенного кислорода используются специальные кислородные сенсоры. Показания этих сенсоров выражаются следующими зависимостями от a_0 и T :

$$E = 0.131 - 1.5 \cdot 10^{-5} T (1 + 6.61 \cdot \lg a_0), \text{ для свинца} \quad (4)$$

$$E = 0.088 - 1.78 \cdot 10^{-5} T - 9,907 \cdot 10^{-5} T \cdot \lg a_0, \text{ для эвтектики Pb-Bi} \quad (5)$$

Исходя из уравнений (1) – (5) строится диаграмма $E - C - C_{\text{Fe}} - T$ (рис. 1, 2).

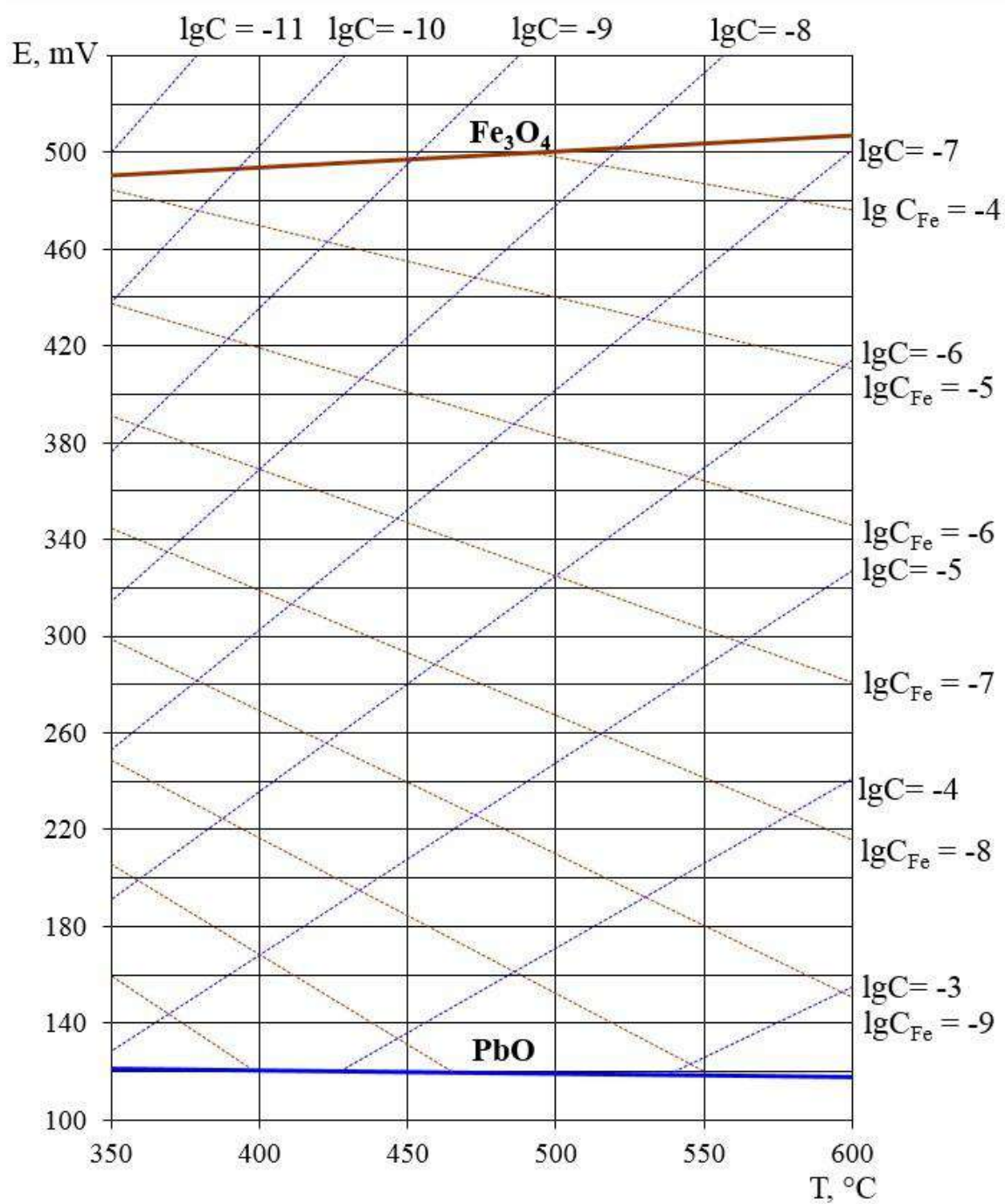


Рис. 1. Диаграмма $E - C - C_{Fe} - T$ для свинца

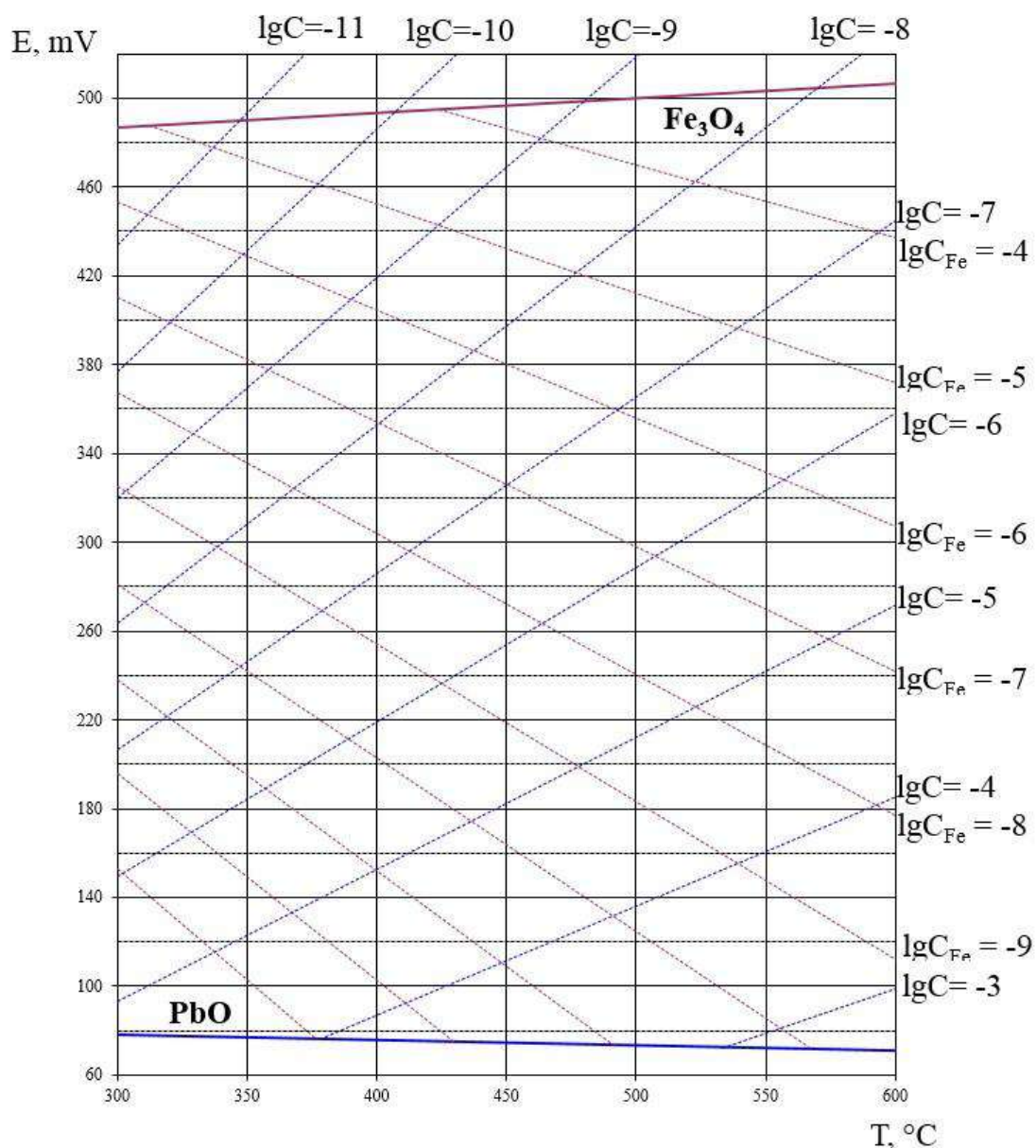


Рис. 2. Диаграмма $E - C - C_{Fe} - T$ для свинцововисмутовой эвтектики

Диаграммы рис. 1 и 2 дополнены линиями равновесия активности кислорода с основным компонентом загрязнения свинецсодержащего теплоносителя PbO и основным компонентом защитных покрытий конструкционных материалов Fe_3O_4 . Таким образом, полученными диаграммами вместе с зависимостями (1) – (5) пользуются для исследования процессов, протекающих в системах со свинецсодержащим теплоносителем.

Смеси водорода и водяного пара широко используются для исследования и проведения химических реакций с участием металлов и оксидов⁵. Равновесные состояния этих реакций достигаются обменом кислорода между газовой и конденсированной фазами. При этом, по мере извлечения кислорода из газовой или конденсированной фазы, равновесие в газовой фазе восстанавливается за счет реакции:



с константой равновесия

$$K_{p(6)} = \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2} p_{O_2}^{1/2}} = f(T) \quad (7)$$

где p_{H_2O} , p_{H_2} , p_{O_2} - равновесные парциальные давления водяного пара, водорода и кислорода в газовой фазе.

В случае если при реакции (6) диссоциирует чистый водяной пар, то связь между p_{O_2} и p_{H_2} определяется стехиометрической зависимостью

$$1/2 p_{H_2} = p_{O_2} \quad (8)$$

а константа равновесия реакции диссоциации чистого водяного пара определяется уравнением:

$$K_{p(6)} = K_{p(H_2O)} = \frac{p_{H_2O}}{2 \cdot p_{O_2}^{3/2}}, \quad (9)$$

Учитывая, что общее давление в газовой фазе

$$P = p_{H_2O} + p_{O_2} + p_{H_2} = p_{H_2O} + 3 \cdot p_{O_2} \quad (10)$$

и, решая совместно уравнения (9) и (10), получим уравнение

$$2 \cdot K_{p(6)} \cdot p_{O_2}^{3/2} + 3 \cdot p_{O_2} - P = 0 \quad (11)$$

Из (11) следует, что величина p_{O_2} в чистом водяном паре является функцией как температуры, так и давления. Поэтому температура и p_{O_2} не могут меняться независимо друг от друга.

Принимая во внимание известное термодинамическое соотношение

$$\Delta Z_6^0 = -R \cdot T \cdot \ln K_{p(6)} \quad (12)$$

где ΔZ_6^0 – стандартное изменение изобарно-изотермического потенциала реакции (6) и, используя справочные данные для определения ΔZ^0 (Дж/моль) реакции образования водяного пара

⁵ Handbook on Lead-Bismuth Eutectic Alloy and Lead Properties, Materials Compatibility, Thermal-hydraulics and Technologies // OECD/NEA Nuclear Science Committee, 2007. 693 p.

$$\Delta Z_{H_2O}^0 = -246000 + 54.84 \cdot T \quad (13)$$

зависимость $K_{p(6)}$ от температуры можно записать в виде

$$\lg K_{p(6)} = -\frac{\Delta Z_{H_2O}^0}{2.303 \cdot R \cdot T} = \frac{12860}{T} - 2.87 \quad (14)$$

В таблице 1 приведены значения $\lg K_{p(6)}$ и $K_{p(6)}$ в диапазоне температур (500–1000) К, соответствующим реальным температурам установок со свинецсодержащим теплоносителем.

Табл. 1

Зависимость $\lg K_{p(6)}$ и $K_{p(6)}$ от температуры

Температура, °К	500	600	700	800	900	1000
$\lg K_{p(6)}$	22,85	18,56	15,50	13,21	11,42	9,99
$K_{p(6)}$	$7,08 \cdot 10^{22}$	$3,66 \cdot 10^{18}$	$3,17 \cdot 10^{15}$	$1,60 \cdot 10^{13}$	$2,62 \cdot 10^{11}$	$9,77 \cdot 10^9$

Как видно, значения эти таковы, что с достаточно высокой точностью можно принять

$$p_{H_2O} = P \quad (15)$$

Поэтому значения p_{O_2} можно найти из более простого, по сравнению с (11) уравнения

$$p_{O_2}^{3/2} = P/2 \cdot K_{p(6)} \quad (16)$$

Из уравнений (14) и (16) и данных таблицы 1 видно, что p_{O_2} в водяном паре увеличивается с повышением давления и температуры, однако при рабочих температурах остается очень малым (от 10^{-14} до 10^{-5} атм.).

Если в водяной пар добавить некоторое количество водорода, то в соответствии с принципом Ле-Шателье процесс диссоциации H_2O частично подавляется. В этом случае, хотя реакция в газовой фазе и описывается уравнением (6), но

$$p_{O_2} \neq p_{H_2} \quad (17)$$

Равновесное содержание компонентов в такой смеси контролируется только уравнением (7). Поэтому

$$p_{O_2}^{1/2} = \frac{p_{H_2O}}{K_{p(6)} \cdot p_{H_2}} \quad (18)$$

Так как при изменении общего давления в газовой фазе значения $K_{p(6)}$ не меняются, то p_{O_2} в произвольно приготовленной смеси H_2 и H_2O является функцией температуры и отношения p_{H_2O}/p_{H_2} . Поэтому p_{O_2} (которое в смесях « $H_2 - H_2O$ » еще меньше, чем в водяном паре) и температуру можно изменять независимо друг от друга.

Из результатов вышеприведенного анализа вытекает следующее:

– в рабочих условиях контуров со свинецсодержащим теплоносителем парциальное давление кислорода в водяном паре и смесях « $H_2 - H_2O$ » чрезвычайно мало;

– окислительные свойства водяного пара зависят как от температуры, так и от давления в контуре, а смесями « $H_2 - H_2O$ » заданного состава – только от температуры.

А из (18) путем несложных преобразований следует, что зависимость равновесной активности кислорода от температуры и p_{H_2O}/p_{H_2} в расплавах Pb и Pb-Bi определяется следующими уравнениями⁶:

$$\lg a_0 = \lg \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} - 1.52 \cdot \frac{10^3}{T} - 2.18 \text{ (свинец)} \quad (19)$$

$$\lg a_0 = \lg \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} - 1.62 \cdot \frac{10^3}{T} - 2.5 \text{ (свинец-висмут)} \quad (20)$$

При постоянном поддержании в газовой фазе отношения p_{H_2O}/p_{H_2} можно изменять первоначальное значение до равновесного с заданными значениями p_{H_2O}/p_{H_2} , которые определяются выражениями:

$$\lg \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} \leq 1.52 \cdot \frac{10^3}{T} + 2.18 \text{ (свинец)} \quad (21)$$

$$\lg \frac{p_{H_2O}}{p_{H_2}} \leq 1.62 \cdot \frac{10^3}{T} + 2.5 \text{ (свинец-висмут)} \quad (22)$$

На процессы взаимодействия свинецсодержащих расплавов с водой и или смесью H_2-H_2O в условиях неизотермичности дополнительно влияет тот факт, что при перемещении смеси H_2-H_2O из одной температурной зоны в другую изменяется парциальное давление кислорода, а, следовательно, изменяется и активность кислорода в расплаве⁷.

⁶ Гулевский В.А., Мартынов П.Н., Орлов Ю.И., Чернов М.Е. Применение смесей водорода и водяного пара в технологии тяжелых жидкометаллических теплоносителей // Сборник докладов конференции «Тяжелые жидкометаллические теплоносители в ядерных технологиях». Обнинск.: ГНЦ РФ-ФЭИ, 1999. Т.2. С. 712-719.

⁷ Мартынов П.Н., Гулевский В.А., Тепляков Ю.А., Ульянов В.В. Особенности взаимодействия воды и водяного пара // Сборник тезисов докладов конференции «Теплофизика-2005». Обнинск.: ГНЦ РФ – ФЭИ, 2005. Т.1. С. 30-31.

Допустим, что распределение кислорода в расплаве носит изоконцентрационный характер. С учетом (2) и (3), значения a_0 определяются из выражений:

$$lga_{0_{T_1}} = 5240 \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + lga_{0_{T_2}} \text{ (свинец)} \quad (23)$$

$$lga_{0_{T_1}} = 6400 \cdot \left(\frac{1}{T_1} - \frac{1}{T_2} \right) + lga_{0_{T_2}} \text{ (свинец-висмут)} \quad (24)$$

где $a_{0_{T_1}}$ и $a_{0_{T_2}}$ – значения a_0 при температурах T_1 и T_2 .

Для недопущения образования оксидов в холодных участках контура и диссоциации защитных оксидных покрытий в горячих участках необходимо выполнение следующих условий:

$$lga_{0_{T_{min}}} < 1; lga_{0_{T_{max}}} > lga_{0_{Fe_3O_4, T_{max}}} \quad (25)$$

где $a_{0_{T_{min}}}$ и $a_{0_{T_{max}}}$ – значения a_0 соответственно при минимальной (T_{min}) и максимальной (T_{max}) температурах в контуре; $a_{0_{Fe_3O_4, T_{max}}}$ – значения a_0 , равновесные с фазой Fe_3O_4 при T_{max} .

Взаимодействия газовой фазы со свинецсодержащим расплавом может происходить в холодных участках, горячих, либо во всем контуре.

В зависимости от температурного режима контура, начальных значений a_0 и состава контактирующей со свинецсодержащим расплавом газовой смеси взаимодействие может начаться как с окисления или раскисления расплава, так и процессом одновременного окисления расплава в горячей и раскислением его в холодной зонах. Но вне зависимости от характера начала взаимодействия конечное состояние системы характеризуется динамическим равновесием.

В состоянии динамического равновесия в горячей зоне ядерной энергетической установки со свинецсодержащим теплоносителем происходят процессы окисления теплоносителя смесью водорода и водяного пара как следует из зависимостей (19), (20), (23), (24), а в холодной зоне будет происходить раскисление теплоносителя этой же газовой смесью. То есть при сохранении постоянного состава газовой смеси, количество растворенного в расплаве кислорода будет оставаться постоянным, определяться соотношением интенсивностей процессов в горячих и холодных участках и не приводить к негативным последствиям для свинецсодержащего теплоносителя и циркуляционного контура в целом.

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РЕЖИМЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Худяков И.Н. – аспирант, ВШЭНиГ «САФУ имени М.В. Ломоносова», Архангельск.

Соловьев И.И. – к.т.н., доцент, ВШЭНиГ «САФУ имени М.В. Ломоносова», Архангельск

Аннотация

В статье рассмотрены методы диагностики состояния силовых трансформаторов в режиме эксплуатации. Предлагается метод диагностирования изоляции, базирующийся на физико-химических и резонансных явлениях, которые свойственны обмоткам силового трансформатора в рабочем режиме.

Эффективность электрохозяйства напрямую связана с эксплуатационным обслуживанием и ремонтом оборудования. Одним из способов поддержания эксплуатационной надежности является применение систем технической диагностики на основе новейших технологий, организации эффективного контроля состояния работающего оборудования¹.

Диагностирование электрического оборудования, а именно силового трансформатора, предполагает присутствие диагностических признаков для оценки его состояния и методов диагностирования, представляющих собой диагностическую ценность. Отметим, что признаки со случайной диагностической ценностью не могут быть использованы для того, чтобы сделать выводы о состоянии трансформатора, и только в некоторых случаях могут свидетельствовать о необходимости полного обследования. Диагностическим признакам, обладающим детерминированной ценностью, характерна монотонность изменения во времени при протекании процесса.

Перечень диагностических признаков, обеспечивающих контроль состояния трансформаторов при вводе в работу и в процессе эксплуатации, максимально допустимые значения контролируемых характеристик и частоты диагностирования, содержит документ РД 34.45-51.300-97 «Объем и нормы испытаний электрооборудования»². Помимо основных параметров он содержит

¹ Худяков И.Н. Проблемы диагностики состояния силовых трансформаторов в условиях эксплуатации / Современная техника и технологии в электроэнергетике и на транспорте: задачи, проблемы, решения. Из-во.: ЮУрФУ, 2020 г. С. 190-193

² РД 34.45-51.300-97 Объем и нормы испытаний электрооборудования [Под общ. ред. Б.Л. Алексева, Ф.Л. Когана, Л. Г. Мамиконянца. 6-е изд., с изм. и доп. М.: изд-во НЦ ЭНАС, 2001. 256 с.

дополнительные показатели: хроматографический анализ растворенных в масле газов, контроль содержания фурановых соединений в масле, определение степени полимеризации, измерение сопротивления короткого замыкания, тепловизионный контроль, ИК-спектрометрия, измерение частичных разрядов, метод низковольтных импульсов, а также применение устройств для диагностирования внутренней изоляции трансформаторов, находящихся под рабочим напряжением.

В настоящее время массовое применение получают методы контроля параметров силовых трансформаторов под рабочим напряжением³. Простыми методами диагностирования под рабочим напряжением является диагностирование по внешним признакам: тепловизионный контроль, регистрация электромагнитного излучения, вибрационный контроль, регистрация частичных и акустических разрядов. Стандартные методы испытаний — физико-химический анализ масла, определение параметров вводов и сопротивления обмоток — являются информативными, но все же недостаточными, поскольку обнаруживают лишь симптомы дефектов, а не их место и потенциальную опасность. Посредством их фактически не оценить степень увлажнения и загрязнения, дефекты устройства РПН.

К перспективным способам диагностирования работающего трансформатора относятся: а) оценка увлажнения твердой изоляции по равновесному состоянию «бумага-масло»; б) снятие параметров частичных разрядов; в) исследование виброакустического диапазона; г) тепловизионное обследование; д) определение параметров частотных характеристик⁴.

Технология контроля может содержать наружный осмотр, анализ растворенных в масле газов, расчет относительной влажности масла, измерение частичных разрядов (акустическими и электрическими датчиками с определением опасности дефекта), выявление распрессовки обмоток и магнитопровода при помощи виброакустических спектров и т. п.

Совокупность мер по оценке состояния трансформатора и определения его работоспособности подразумевает постоянный и периодический контроль параметров в работе и детальное обследование в отключенном состоянии во

³ Рыбаков Л.М., Макарова Н.Л., Калявин В.П., Диагностика и надежность в системах электроснабжения: монография / Изд.: Мар. гос. ун-т; Йошкар-Ола. 2016. 319 с.

⁴ Вдовико В.П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования. Новосибирск: Наука, 2007. 155 с.

время ремонтных работ. Отсутствие универсальных и конкретных параметров оценки технического состояния трансформатора приводит к обязательному применению грамотно подобранного комплекса методов его контроля, многостороннего учета всех факторов работы трансформатора при решении вопроса о его последующей эксплуатации.

Формирование показателей оценки информативности контролируемых показателей и определение возможности их использования для выводов о техническом состоянии и запасе работоспособности трансформаторов является важной задачей для диагностирования. При создании системы диагностирования состояния внутренней изоляции трансформаторов главную роль играют следующие факторы:

- считается ли контролируемый показатель функцией физико-химического состояния изоляции или он отслеживает сопутствующие изменения в процессе развития повреждений;
- присутствие изменения значения измеряемого показателя во времени при развитии характеризуемого им повреждения;
- присутствие весомых различий между значениями измеряемого показателя и степенью развития повреждения.

С учетом данных факторов предлагается метод диагностирования изоляции, базирующийся на физико-химических и резонансных явлениях, которые свойственны обмоткам силового трансформатора в рабочем режиме⁵. Данный метод позволяет увеличить число контролируемых элементов изоляции, повысить достоверность постановки диагноза о состоянии обмоточной изоляции, а также реализовать постоянное диагностирование силового трансформатора, находящегося в рабочем режиме.

При принятии окончательного решения по итогам диагностирования о возможности и целесообразности дальнейшей эксплуатации трансформаторов необходимо оценить его фактическое состояние и вероятные последствия принятого решения. Подход к оценке степени вероятного риска должен принимать во внимание материальные затраты, необходимые для осуществления принятого решения, а также множественные конкретные и индивидуальные условия.

⁵ Ахметшин Р.С., Рыбаков Л.М. Технические средства диагностирования силовых трансформаторов 10/0,4 кВ на основе частотных характеристик // Электричество. 2005. № 5. С. 20-26.

Основное значение приобретает решение следующих задач: раннее выявление повреждений, установление взаимосвязи между диагностированием и надежностью электроснабжения, снижение затрат на диагностирование, постоянный контроль состояния работоспособности силовых трансформаторов.

Система постоянного контроля состояния трансформатора должна исследовать характеристики, изменения которых сигнализируют о развитии дефектов на ранних стадиях. Данные постоянного контроля считаются оперативной базой для постановки диагноза и являются средством прогнозирования последующей работы трансформатора.

Нами разрабатывается собранный из модулей способ диагностирования, позволяющий в рабочем режиме под рабочим напряжением снимать частотные характеристики силовых трансформаторов для обнаружения развивающихся дефектов. Структурная схема устройства диагностирования приведена на рисунке 1, где Т — силовой трансформатор; С1, С2 высоковольтные конденсаторы; ФП1, ФП2 — фильтры присоединения; БКИ — блок коммутаций и измерений; БГТ блок генерации тестов; БО — блок обработки; БИ — блок индикации; ПО пульт оператора; НН и ВН низковольтные и высоковольтный выходы трансформатора.

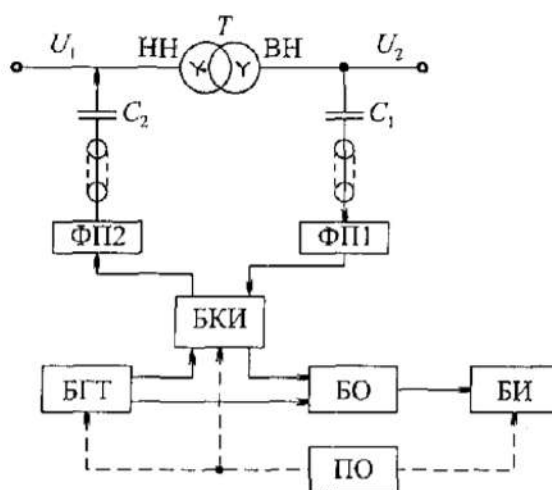


Рис. 1. Структурная схема устройства диагностирования

Принцип действия установки для диагностики состояния изоляции силовых трансформаторов в рабочем режиме базируется на регистрации параметров амплитудно-частотных данных при входе на одну из обмоток высокочастотного сигнала, равного резонансной частоте, и измерении разности напряжений $\Delta U=U$ или коэффициента передачи $k=U1/U2$.

Предполагается, что этот способ диагностирования изоляции силовых трансформаторов в рабочем режиме позволит обнаруживать дефекты на начальной стадии их развития, а также позволит прогнозировать дальнейшую работу трансформатора.

Для проверки полученных результатов оценки состояния изоляции разрабатываемым методом и традиционными методами ($\text{tg}\delta$, Риз и т.д.) также необходимо произвести математическую обработку данных.

ПРИМЕНИМОСТЬ ВЕРОЯТНОСТНЫХ МЕТОДОВ К РАСЧЕТУ НЕСИММЕТРИЧНЫХ РЕЖИМОВ СЕЛЬСКИХ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЕЙ

Ильин Ю.П. – к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии» ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Белов А.В. – к.т.н., доцент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Ткачёв А.Н. – к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии» ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Кузьмина Н.Ю. – соискатель кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Скородумова Н.В. – ассистент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

Рассматривается возможность применения вероятностных методов к расчету несимметричных режимов работы сельских электрических сетей. Установлено, что непрерывное изменение уровня нагрузки наряду с изменением ее суточных значений определяется случайными показателями функции нормального распределения.

Современная практика эксплуатации агропромышленных сетей 0,38 кВ показывает, что в них существует значительная несимметрия нагрузок по фазам. Равномерное распределение электроприемников по фазам с учетом

установленной мощности и фактической загрузки не решает существующей проблемы. В отдельные моменты времени добиться такого соответствия можно только при наличии приемников электрической энергии с близкими к единице коэффициентами одновременности

Следует учитывать, что несимметрия напряжений, соответствующая 4% по отношению к прямой и обратной составляющим напряжения, снижает срок службы асинхронных электродвигателей в 2 раза¹.

Характерной особенностью несимметрии является непрерывное изменение уровня нагрузки в различных фазах. Кроме этого, наряду с регулируемыми суточными изменениями общей величины нагрузки имеет место несоответствие ее фазных значений между собой.

Это изменение определяется случайными показателями и зависит от степени увеличения или уменьшения общей нагрузки. При этом включение и отключение отдельных приемников и потребителей электроэнергии можно рассматривать с повторяемостью, выраженной гауссовой функцией нормального распределения².

Появление некоторой величины X (отклонение напряжения, смещение нейтрали, несинусоидальность формы кривой ЭДС), лежащей в пределах $\pm a$ и учитываемой ГОСТ32144-2013³ может быть выражено интегралом вероятности в диапазоне изменения нагрузки «а»:

$$\Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right) = \frac{1}{\pi} \int_0^{\frac{a}{\sigma}} e^{-t^2} dt, \quad (1)$$

где σ – среднеквадратическое отклонение X .

При этом вероятность отклонений относительно 0, как правило, одинакова и может быть описана выражением:

$$P = \frac{1 - \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)}{2}. \quad (2)$$

Зависимость величины общей несимметрии от количества подключенных потребителей электрической энергии можно установить на основании равной

¹ Тушина А.А. О несимметрии нагрузки в городских распределительных сетях низкого напряжения // Электричество. 1959. № 10. С. 15-21.

² Там же; Рожавский С.М. Методы расчета мгновенных и вероятностных характеристик сельских сетей 0,38 кВ// Сб. Научных трудов ХИМЭСХ. Харьков, 1971. Т. 1. Вып. 14-16. 240 с.

³ ГОСТ32144-2013 Нормы качества электроэнергии в системах электроснабжения общего назначения. М.: Стандартинформ, 2014. 16 с.

вероятности включения и отключения отдельных электроприемников и потребителей электроэнергии. В качестве базового варианта используем магистральный участок сельской радиальной сети напряжением 0,38 кВ, к которой равномерно подключено N_i потребителей соответствующей мощности и среднеквадратической величине случайных отклонений фазных нагрузок от их среднего уровня потребления электроэнергии (i). Через N_0 отобразим те же величины для всей магистрали.

Пусть $a_1, a_2, a_3 \dots a_i \dots a_n$ – величины случайных отклонений фазных нагрузок от среднего значения при включении i -ых приемников электроэнергии с равной вероятностью, удовлетворяющей условию:

$$P = \frac{1 - \Phi\left(\frac{a}{\sigma}\right)}{2} = idem. \quad (3)$$

В этом случае будет иметь место равенство соотношений:

$$\frac{a_1}{\sigma_1} = \frac{a_2}{\sigma_2} = \dots = \frac{a_n}{\sigma_n} = \frac{a_0}{\sigma_0}. \quad (4)$$

где a_0 – случайное отклонение фазных нагрузок от среднего значения всей магистрали, имеющее ту же вероятность, что и отклонение отдельных приемников $a_1, a_2, a_3 \dots a_i \dots a_n$.

Известно, что если случайное отклонение рассматриваемой величины в каждом из нескольких элементов подчинено нормальному закону распределения, то и при объединении этих элементов случайные отклонения будут распределены нормально, соответствуя выражению:

$$\sigma_0 = \sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_n^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_i^2. \quad (5)$$

Искомая величина зависит от мощности приемников электроэнергии и их структуры (графика потребления), т.е. от режима работы потребителей и от соотношения долей участия их в суммарном потреблении энергии.

В случае, если от магистрали получают электрическую энергию однородные потребители, то вместо абсолютных величин σ можно учитывать их относительные значения $\sigma^* = \frac{\sigma}{N}$. В этом случае используется зависимость:

$$\sigma_0^* = \frac{\sigma^*}{\sqrt{n}}. \quad (6)$$

Следовательно, при питании от участка сети n потребителей с одинаковой мощностью и графиками потребления относительные величины среднеквадратического отклонения фазных нагрузок от среднего значения, его необходимо уменьшать в $n^{1/2}$ раз по отношению к среднему значению одного потребителя.

При объединении n потребителей, имеющих одинаковые режимы работы, но разные мощности, используют выражение:

$$\frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_i^2}}{\sum_{i=1}^n \sigma_i} = \frac{\sqrt{1 + \frac{P_2}{P_1} + \frac{P_3}{P_1} + \dots + \frac{P_n}{P_1}}}{1 + \sqrt{\frac{P_2}{P_1}} + \sqrt{\frac{P_3}{P_1}} + \dots + \sqrt{\frac{P_n}{P_1}}}, \quad (7)$$

где $P_1, P_2, P_3 \dots P_n$ – мощности приемников электроэнергии 1, 2, 3 ... n .

Среднеквадратическое отклонение фазных нагрузок от их среднего значения представляет величину, пропорциональную коэффициенту несимметрии нагрузки:

$$K_{nc(общ)} = \frac{K_{nc(np)}}{\sqrt{n}} = \frac{1}{\sqrt{n}}, \quad (8)$$

где $K_{nc(общ)}$ – общий коэффициент несимметрии рассматриваемой сети;

$K_{nc(np)}$ – коэффициент несимметрии одного однофазного потребителя;

n – общее количество потребителей электроэнергии, подключенных к сети.

Следовательно, коэффициент несимметрии нагрузок сельских электрических сетей может быть представлен величиной, обратной корню квадратному из количества потребителей электроэнергии, питающихся в данный момент от сети.

Можно заключить, что изменение несимметричной нагрузки в сельских электрических сетях напряжением 0,38 кВ обратно пропорционально количеству потребителей электроэнергии, создающих различные значения коэффициентов одновременности.

Соотношение ожидаемой величины несимметрии для участков с различной нагрузкой в общем виде может быть описано следующим равенством:

$$\frac{K_{HC_{n-1}}}{K_{HC_n}} = \sqrt{\frac{n_{n-1}}{n}} = \sqrt{\frac{P_{n-1}}{P_n}} = \sqrt{\frac{I_{n-1}}{I_n}}, \quad (9)$$

где $K_{HC_{n-1}}$ – ожидаемый коэффициент несимметрии при нагрузке, соответствующей подключенным $n-1$ потребителям электроэнергии;

K_{HC_n} – то же, но при подключении n потребителей электроэнергии;

$P_{n-1}, P_n, I_{n-1}, I_n$ – соответственно нагрузки, кВт или А, при $n-1$ и n .

Обозначив разность токов нагрузки в фазах, получаем критерий:

$$a = I_1 - I_2. \quad (10)$$

Учитывая зависимость тока в виде дробнолинейной функции⁴ от длительности процесса t , получим соотношение:

$$I = \frac{d + ct}{d + t}, \quad (11)$$

где d, c – эмпирические коэффициенты, определяемые по графику нагрузки по продолжительности.

При этом вероятность появления разности токов a можно записать следующим образом:

$$S(a) = 2 \int_a^{1-a} da \int_a^{1-a} t'(I) t'(I+a) \cdot dI. \quad (12)$$

Длительность протекания несимметричной нагрузки $S(a)$ можно характеризовать вероятностью выполнения неравенства:

$$|I_1 - I_2| \geq a, \quad (13)$$

т.е.

$$S(a) = P\{|I_1 - I_2| \geq a\}. \quad (14)$$

Неравенство справедливо в диапазоне a от 0 до $1-I_0$.

Таким образом, непрерывное изменение уровня нагрузки наряду с изменением ее суточных значений определяется случайными показателями функции нормального распределения.

Отклонение рассматриваемой величины зависит от мощности приемников электроэнергии, режимов работы потребителей и соотношения долей участия их в суммарном потреблении электроэнергии.

⁴ Рожавский С.М., Позняк В.П. Об аппроксимации графиков нагрузки сельскохозяйственных подстанций по продолжительности // Сб. научных трудов ХИМЭСХ. Харьков, 1971. Т. 1. Вып. 14-16. 240 с.

Среднеквадратическое отклонение фазных нагрузок от математического ожидания пропорционально коэффициенту несимметрии нагрузки, который является величиной обратной корню квадратному из количества потребленной электроэнергии.

РАБОТА УСТРОЙСТВ ЗАЩИТНОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ В УСЛОВИЯХ НЕСИММЕТРИИ

Ильин Ю.П. – к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии», ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Белов А.В. – к.т.н., доцент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Ткачёв А.Н. – к.т.н., доцент кафедры «Техника и технологии», ОУ ВО «Южно-Уральский технологический университет»

Кузьмина Н.Ю. – соискатель кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов», ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Скородумова Н.В. – ассистент кафедры «Энергообеспечение и автоматизация технологических процессов» ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный аграрный университет»

Аннотация

В статье рассмотрены вопросы электромагнитной совместимости устройств защитного отключения (УЗО) в сельских сетях. Проанализированы основные виды помех, опасных для использования УЗО.

Современная практика эксплуатации агропромышленных сетей 0,38 кВ показывает, что в них существует значительная несимметрия нагрузок по фазам.

Равномерное распределение электроприемников по фазам с учетом установленной мощности и фактической загрузки не решает существующей проблемы. Кроме этого, устройства защитного отключения (УЗО) I и II ступени, работающие в сельских электрических сетях напряжением до 1 кВ, в условиях несимметрии должны выполнять определенную функцию согласно зависимости:

$$a = O_p(e), \quad (1)$$

где a, e – соответственно входная и выходная величины;

O_p – оператор, дающий возможность преобразования входной величины «е» в выходную «а».

Критерий преобразования определяется чувствительностью структурных элементов к электромагнитным и неэлектромагнитным влияющим величинам. Обработка информации зависит от внешних и внутренних воздействий¹:

$$\begin{cases} Z_n = Z_{an} = Z_{ac}; \\ Z_{in} = Z_{ic}, \end{cases} \quad (2)$$

где Z_n – параметры внешних факторов неэлектрического воздействия;

Z_{an}, Z_{ac} – параметры внутренних аналоговых факторов;

Z_{in} – аналоговые факторы;

Z_{ic} – внутренние неэлектрические аналоговые факторы.

Нарушение функционирования УЗО или отклонение от нормального режима определяется выражением:

$$\Delta a = a_r - a_i, \quad (3)$$

где a_r – реальная выходная величина;

a_i – идеальная выходная величина.

Невыполнение условия (3) допускается только в цифровых системах.

Состояние последовательной цепи «УЗО – сеть – потребитель» определяются: для нормального режима работы зависимостью (4), работающей с нарушением – (5).

$$\forall e[(e \in E); (\Delta a \leq \varepsilon)], \quad (4)$$

$$\exists e[(e \in E); (\Delta a \geq \varepsilon)], \quad (5)$$

где E – область, определяющая параметр «е».

Следовательно, для УЗО скрытое нарушение выполнения определенных функций или непредусмотренное уровнем функционирования прохождение сигналов управления вызывает изменение функционирования отдельных элементов периферийной зоны устройства. Это происходит как при вводе в эксплуатацию, так и при сервисном обслуживании, поскольку несимметричные

¹ Хабигер Э. Электромагнитная совместимость основы ее обеспечения в технике, пер. с нем. к.т.н. И.П. Кужекина, под ред. д.т.н. проф. Б.К. Максимова. М.: Энергоатомиздат, 1995. 214 с.

явления в сетях трудно исключаемы и являют собой причастность электромагнитного влияния к нарушению функционирования.

Одним из критериев, отражающим состояние функционирования УЗО и определяющим его качество на всех этапах от создания до эксплуатации системы является электромагнитная совместимость (ЭС).

ЭС характеризуется уровнем помех при установлении требований помехоустойчивости, допустимым изучением помех и обратным действием от различных видов УЗО, степенью помехозащищенности, разрабатываемыми конструкциями устройств с учетом их ЭС и параметрами деталей².

Электромагнитные поля, определяемые несимметрией напряжений и токов, обусловлены наличием большого числа источников помех как с естественными (природными электромагнитными явлениями), так и с искусственными (электромагнитными системами)³.

Естественные источники помех включают в себя атмосферные разряды и разряды статического электричества, а также глобальные процессы солнечного и космического происхождения, атмосферные шумы, геомагнитные и геоэлектрические поля⁴. Их принято характеризовать как совокупность внешних источников помех. Искусственными источниками электромагнитных полей являются процессы, характеризующие нормальные и аварийные режимы приборов, машин, электроэнергетических установок, устройств информационной техники, расположенных вблизи зон действия УЗО.

Указанные помехи воздействуют на УЗО, каналы их сигналов и системы электропитания, отдельно или комбинированно при случайном наложении во времени, попадая совместно с полезными сигналами или с напряжением питания по проводам (U, i), либо полевым путем⁵.

Анализ причин появления внутренних помех в системе показывает, что основными являются напряжение питания промышленной частоты, изменение потенциала сетевых проводов питания устройств электроники, изменение сигналов в проводах управления передачи данных, высоко и низкочастотные

² Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств и непреднамеренные помехи. Вып. 1 / Уайт Д. // Советское радио. 1977. № 1; 1978. № 2; 1979. № 3.

³ Князев А.Д. Элементы теории и практики электромагнитной совместимости радиоэлектронных систем. М: Радио и связь, 1987. 187 с.

⁴ Хабигер Э. Электромагнитная совместимость основы ее обеспечения в технике, пер. с нем. к.т.н. И.П. Кужекина, под ред. д.т.н. проф. Б.К. Максимова. М.: Энергоатомиздат, 1995. 214 с.

⁵ Кравченко В.И., Болотов Е.А., Летунова Н.И. Радиоэлектронные средства и мощные электромагнитные помехи. М.: Радио и связь, 1984. 163 с.

тактовые сигналы, коммутационные процессы в герконах, магнитные поля ходовых механизмах с накопителями энергии, резонансные явления и искровые разряды при замыкании и размыкании контактов⁶. Эти причины вызывают в УЗО изменение переходных сопротивлений в контактах, появление шумов в активных пассивных элементах, дрейф параметров элементов, разброс времени коммутации и исчезновение сигналов при передаче. При этом возникают отражения в линиях, различного рода вибрации и микрофонный эффект в контактах, а также пьезоэлектрическое смещение зарядов при сжатии и изгибах изоляции, схемотехнические и термоэлектрические эффекты в точках соединения проводников из различных материалов⁷.

Рассмотрение технических электромагнитных процессов, протекающих в УЗО необходимо оценивать в нормальных и аварийных режимах служащими потенциальными источниками помех, определяемых двумя классами.

Первый класс включает помехи в областях низких, средних и высоких частот, создаваемых устройствами электроснабжения переменного тока выпрямительными приборами, кабельными и воздушными линиями электропередачи, коммутационными сетевыми устройствами и т. п.⁸.

Второй класс охватывает процессы, создающие апериодические случайные, возникшие во времени помехи, с широким частотным спектром. В сетях низкого напряжения источником апериодических помех являются отключения трансформаторов, дросселей и других вспомогательных механизмов, отключение индуктивности токовых контуров, включение и отключение люминесцентных ламп, процессы зажигания сварочных агрегатов, коммутация ненагруженных кабелей, ЛЭП, электронагревательных устройств⁹.

К наиболее интенсивным помехам опасным для УЗО относятся, создаваемые при коммутации индуктивности цепей. Эти помехи увеличивают интенсивность при синхронном срабатывании контактов, содержащих последовательно соединенные промежутки, с целью ослабления эрозии контактных электродов.

⁶ Иванов В.А., Ильинский Л.Я., Рузик М.И. Электромагнитная совместимость радиоэлектронных средств. Киев: Техника, 1983. 313 с.

⁷ Там же.

⁸ Hause P.: Blitze und Blitzschutz. Festvortrag «History of Lightning Protection» Memorial lecture Meeting Tokyo, 28 juni 1988. Enwcite rte deuschprchige Ausgabe.

⁹ Kunz H.A. Elektrostatische Aufladungen und Simulation des Entladevorgangs Elektronik 30 (1981) H/14, S. 43-46.

В неблагоприятных случаях возможные значения помех характеризуются следующими величинами:

- перенапряжения в местах возникновения до 10 кВ;
- крутизна перенапряжений до 100 В/нс;
- время нарастания импульса перенапряжения от 1 нс до 1 мс;
- скорость уменьшения напряжения при вибрациях 2-5 кВ/нс;
- длительность импульсов при вибрациях от 100 нс до 1 мс;
- обусловленные этим напряжения помех в сети или линии передачи данных 3 кВ.

Кроме этого, следует учитывать спектр частотного диапазона от 10 до 10^8 Гц для периодических и импульсных периодических процессов, вызывающих помехи при работе УЗО. Изучение основных типов помех и диапазонов изменения их параметров для потребителей сельских электрических сетей дает возможность определить значимость как периодических, так и не периодических случайных помех, временные и частотные области, а также их амплитудные спектры. Это необходимо для математического моделирования представленных помех и свойств систем, содержащих УЗО.

**СОВРЕМЕННАЯ ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ В
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ И НА ТРАНСПОРТЕ:
ЗАДАЧИ, ПРОБЛЕМЫ, РЕШЕНИЯ**

СБОРНИК ТРУДОВ V ВСЕРОССИЙСКОЙ (С
МЕЖДУНАРОДНЫМ УЧАСТИЕМ) НАУЧНО-
ПРАКТИЧЕСКОЙ КОНФЕРЕНЦИИ НАУЧНЫХ, НАУЧНО-
ПЕДАГОГИЧЕСКИХ РАБОТНИКОВ, АСПИРАНТОВ И
СТУДЕНТОВ