

ТЕХНИКО- ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА

ISSN 2074-1146

№ 2(40), 2017

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ, издается с 2007 года

Учредитель:	 Санкт-Петербургский Государственный Экономический Университет
Редакционный совет:	<p>И.А. Максимцев – ректор СПбГЭУ, д.э.н., профессор – <i>председатель совета</i>; Е.А. Горбашко – проректор по НР СПбГЭУ, д.э.н., профессор – <i>заместитель председателя совета</i>; Г.В. Лепеш – заведующий кафедрой МОБиЖКН СПбГЭУ, д.т.н., профессор – <i>главный редактор журнала</i></p> <p>Члены редакционного совета: А.Г. Боровский – к.т.н., старший научный сотрудник, председатель совета директоров Ассоциации предприятий коммунального машиностроения (ОАО "Научно - исследовательский, конструкторско-технологический институт строительного и коммунального машиностроения"), заслуженный машиностроитель РФ, г. Санкт-Петербург; А.Е. Карлик – д.э.н., профессор заведующий кафедрой экономики и управления предприятиями и производственными комплексами СПбГЭУ, г. Санкт-Петербург; С.И. Корягин – д.т.н., профессор, заслуженный работник высшей школы РФ, директор института транспорта и технического сервиса БФУ им. И. Канта, г. Калининград; В.Н. Ложкин – д.т.н., профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор Санкт-Петербургского университета государственной противопожарной службы МЧС Росси; В.В. Пеленко – д.т.н., профессор, заместитель директора института холода и биотехнологий по учебной работе Санкт-Петербургского национального исследовательского университета информационных технологий, механики и оптики; С.П. Петросов – д.т.н., профессор, заслуженный работник бытового обслуживания, заведующий кафедрой «Технические системы ЖКХ и сферы услуг» института сферы обслуживания и предпринимательства (филиал) «Донского государственного технического университета» (г. Шахты); П.И. Романов – д.т.н., профессор, директор научно-методического центра УМО вузов России (СПбГПУ), г. Санкт-Петербург; Н.Д. Сорочкин – к.ф.-м. н., заслуженный эколог Российской Федерации, заместитель председателя комитета по природопользованию, охране окружающей среды и обеспечению экологической безопасности правительства Санкт-Петербурга</p>
Editorial council:	<p>I.A. Maksimcev – rector SPbSEU, doctor of economic sciences, professor – the chairman of the board; E. A. Gorbashko – vice rector for scientific work SPbSEU, doctor of economic sciences, professor – the vice-chairman of council; G.V. Lepesh – head of the chair of Machines and equipment for domestic and housing SPbSEU, the editor-in-chief of the magazine, doctor of engineering sciences, professor – the editor-in-chief of the scientific and technical journal</p> <p>Members of editorial council: A.G. Borovsky – candidate of technical sciences, senior research associate, chairman of the board of directors of association of the enterprises of municipal mechanical engineering (JSC Scientifically – research, design-technology institute of construction and municipal mechanical engineering), honored mechanical engineer of the Russian Federation, St. Petersburg; A. E. Karlik – doctor of Economics, professor, head of chair of Economics and management of enterprises and production complexes SPbSEU, Saint-Petersburg; S. I. Koryagin – doctor of engineering, professor, honored worker of higher school of Russian Federation, the director of institute of transport and the BFU technical service of I. Kant, Kaliningrad; V.N. Lozhkin – doctor of engineering, professor, honored scientist of Russia, Professor of St. Petersburg University of state fire service of the Ministry of Emergency Situations of Russia; V. V. Pelenko – doctor of engineering, professor, deputy director of institute of cold and biotechnologies on study of the St. Petersburg national research university of information technologies, mechanics and optics; S. P. Petrosov – doctor of engineering, professor, honored worker of consumer services, – head of the chair of "Technical systems of housing and public utilities and a services sector" of institute of services industry and businesses (branch) of "Donskoy of the state technical university" (Shakhty); P. I. Romanov – doctor of engineering, professor, director scientific and methodical center of higher education institutions of Russia (St. Petersburg state polytechnical university), St. Petersburg; N. D. Sorokin – candidate of physical and mathematical sciences, honored ecologist of the Russian Federation, vice-chairman of committee on environmental management, environmental protection and ensuring ecological safety of the government of St. Petersburg</p>
Адрес редакции:	<p>Санкт-Петербург, Прогонный пер., д.7, лит.А, офис 111 Для писем: 191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., 21, офис. 215. Электронная версия журнала: http://unecon.ru/zhurnal-tips; http://elibrary.ru/ Подписной индекс в каталоге «Журналы России» –95008; тел./факс (812) 3604413; тел.: (812) 3684289; +7 921 7512829; E-mail: gregoryl@yandex.ru. Оригинал макет журнала подготовлен в редакции</p>

Санкт-Петербург – 2017

СОДЕРЖАНИЕ

КОЛОНКА ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

К вопросу концепции развития
российской высшей школы.....3

ДИАГНОСТИКА И РЕМОНТ

Колосков А.А., Иванов Д.А.
Диагностика технического состояния
элементов шасси самолета Боинг-777
методами неразрушающего
контроля.....7

*Великанов Н.Л., Наумов В.А., Корягин
С.И., Мойса А.В.* Совершенствование
системы ливневой канализации
города.....14

*Зарезин В.Е., Дружинин П.В., Коричев
А.А.* Повышение качества ремонта
деталей техники железнодорожных
войск с использованием
ультразвуковых технологий.....21

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Аганов Д.С. Специфика
функционирования теплотехнического
и технологического оборудования
в различных отраслях
производства.....26

Лепеш Г.В., Егоров К.А., Широких А.Н.
Оценка функционирования узла
крепления брони магистрального
кабеля гидроакустической станции в
условиях осевого натяжения.....36

Лепеш Г.В., Лунева С.К. Повышение
энергоэффективности топливно-
энергетических установок.....45

Лепеш А.Г., Потемкина Т.В. Повышение
эффективности использования
электроэнергии..... 60

ОРГАНИЗАЦИОННО- ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СЕРВИСА

Лазарев Ю.Г., Кириллова Д.Ю. Общие
рекомендации по организации центра управ-
ления опытно-экспериментальными полиго-
нами на сети федеральных
автомобильных дорог.....73

Лазарев Ю.Г., Зянкина К. Э. Анализ
международного опыта развития
придорожного сервиса на сети
федеральных автомобильных
дорог.....77

Кириллов С.В., Романов Н.Н.
Обоснование рациональной потребности в
автобусах для организации
международных автобусных
перевозок.....81

Abstracts of the articles.....85

Требования к материалам, принимаемым для
публикации в научно-техническом
журнале «Технико-технологические
проблемы сервиса».....92



К ВОПРОСУ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

*Ученье без размышления бесполезно, но
и размышление без учения опасно.¹*

В современном обществе все чаще подвергаются критическому разбору процессы, происходящие в высшей школе [1,2]. Недовольство положением дел в высшей школе усугубляется углубляющимся экономическим кризисом, снижением финансирования, постоянными угрозами сокращения численности вузов, филиалов, ставок, бюджетных мест.

В настоящее время в общественном сознании прочно утвердились следующие расхожие представления о ситуации в высшем образовании [3]:

- снижается качество высшего образования;
- высшее образование не отвечает потребностям рынка труда;
- большинство выпускников вузов не работают по полученной специальности;
- выпускников с высшим образованием у нас слишком много;

необходимо увеличить выпуск количества специалистов со средним профессиональным образованием и рабочих, которых не хватает для рынка реальной экономики.

Высказывается скрытое, иногда даже публичное недовольство состоянием учебного процесса, уровнем и качеством получаемого выпускниками образования. Некоторые вузы напрямую обвиняют в выдаче дипломов без соответствующей оценки квалификации на основе рыночных отношений. В качестве альтернативы в пример ставится советская система высшего образования, которая обладала высоким уровнем доступности и стандартизации, жесткостью учебных программ, была бесплатной и имела систему распределения выпускников, обеспечивающую их непереносимое трудоустройство в соответствии с полученной квалификацией.

Основанием подобного критического отношения являются не только особенности современного этапа состояния экономики России, но и массовости образования по сравнению с советским периодом. К тому же недостаток и непрерывное снижение государственного финансирования вузов, присущие современному периоду, приводят к быстрой коммерциализации вузов, преобразованию их в рыночные субъекты. Сокращение в 90-е годы предприятий реальной экономики привело к изменению процесса обучения; акцент в профессиональном обучении сместился от передачи квалификаций, обеспечивающих уровень подготовки и специализацию выпускника в соответствующей отрасли – к набору компетенций, обеспечивающих трудоустройство выпускника в условиях быстро меняющегося рынка труда [4]. Эту необходимость сегодня объясняют еще присоединением России в 2003 г. к Болонскому процессу и переходу на многоуровневое высшее образование.

Развитие Интернет, компьютерных сетей и информационных технологий [5] привело к легкой доступности содержательной части образования, к отрыву его от конкретных научных школ, а во многих случаях и к наличию определенного хаоса и даже к искажению предметного содержания знания. Появилась возможность реализации индивидуальных траекторий обучения, построения сетевых моделей учебного процесса.

Традиционная в российском образовании модель обучения (основанная на модели классического немецкого университета [6]) в большинстве российских вузов трансформировалась в проектную (построенную на модели американского университета). Так называемая "конвейерная" схема получения фундаментальных затем прикладных знаний, на базе последовательно преподаваемых предметов, построенных на соответствующих научных дисциплинах.

¹ Конфуций

плинах, заменяется активными и интерактивными методами (проектами), привязанными к проектной деятельности выпускающих кафедр. Это значительно сужает специализацию выпускника, ориентирует его на конкретного, во многих случаях временного потребителя, увеличивает конкурентную борьбу между вузами. Достоинством же такого образования является его высокая интенсивность за счет увеличения практических занятий, тренингов, сжатого изложения материалов и кейс-технологий.

Переход к проектным методам обучения позволяет также значительно повысить гибкость образовательного процесса в получении необходимого для конкретного работодателя набора компетенций выпускника путем комбинации разнообразных типов обучения – индивидуального и группового, аудиторного и внеаудиторного, включая самообразовательный процесс и самоконтроль.

В последние десятилетия российское высшее образование переживает сложный период, связанный с непрерывной сменой процессов его реформирования, таких как: перехода к ЕГЭ, выполнения требований Болонской конвенции, модернизации федеральных стандартов, определение рейтингов, выделение группы ведущих университетов (ФУ, НИУ и др. –150 – 200 вузов) – центров интеграции образования, науки и инноваций, оптимизации вузов и т. д. и т. п. При этом ни один из этих процессов нельзя с уверенностью определить успешно завершившимся. Однако имеются и позитивные изменения, касающиеся, прежде всего, содержательной части образовательного процесса. Появляются новые образовательные программы [7,8] и новые образовательные технологии, вводится модульное обучение и элементы дистанционного образования, происходит переход на индивидуальные образовательные траектории, ведется поиск инновационных подходов к структуре образовательного процесса.

Происходящие изменения во многом связаны с переходом к так называемой "рыночной модели политики высшего образования", отличительными чертами которой является ориентация вузов на потребности рынка труда, их связь с бизнес-сообществом, активная исследовательская деятельность, опосредованный специализированными агентствами государственный контроль [9].

В современных условиях существования высшей школы в качестве перспективной рассматривается сетевая модель образования, в

которой главной фигурой определяется "ведущий поиск субъект, самостоятельно формирующий свое образование, постоянно стремящийся к самообучению и развитию, достижению новых целей" [6], т.е. – сам обучающийся. Очевидно, что с формированием информационных потоков и банков информации, в том числе и научной, в сети Интернет с обеспечением доступа к этой информации появляется возможность, да и необходимость глобализации самого образовательного процесса. В формирующемся "сетевом образовательном пространстве" появляется возможность самому субъекту образования определять свой собственный вариант образовательного процесса с результатом, ориентированным на сегодняшний или прогнозируемый рынок труда. С другой стороны, к образовательному процессу посредством формирования Интернет ресурсов могут подключаться неклассические образовательные и иные учреждения, включая и самих будущих работодателей.

Преимущества очевидны, однако очевидны и недостатки.

Первый из них связан с современным состоянием информационных ресурсов, которые в своем большинстве предоставляют "готовое знание", которое не способствует развитию мышления и способов добывания информации, наоборот, создают иллюзию легкости получения информации, формируют у обучающихся потребительское отношение к ней. Вместо фундаментальных знаний обучающийся получает набор готовой информации, актуальной, на его взгляд, для современного усвоения и использования в будущей профессиональной деятельности. Следовательно, реализация данной модели связана с глубокой методологической проработкой использования создаваемых Интернет ресурсов, логической и гуманитарной концептуальной проработке вопроса о месте Интернета в образовании, роли его в постановке самоопределения студентов, развития проектного методологического мышления в ситуации все большего расширения границ образовательного пространства.

Второй недостаток связан с обесцениванием научного капитала, попадаемого в информационное пространство сети Интернет. Как правило, данная информация создается университетскими профессорами, которые в то же время являются своеобразными "дистрибьюторами" этого капитала в глобальных сетях. "Появляющийся в университетах научный ка-

питал в виде нового научного знания очень быстро переходит их границы и превращается в глобальный научный капитал, где его университетское происхождение постепенно всеми забывается"[10]. Особенно обесцениваются университетские библиотечные фонды.

В университетском обществе широко обсуждается еще одна модель (четвертая), получившая название "автопоэзиса" [6,11], предполагающая непосредственный анализ текущих проблем и разработку их решений по мере возникновения. Эта построенная на проблемном подходе модель предполагает создание неких "виртуальных организаций", которые для себя же формулируют проблемы, разрабатывают их и сами же потребляют полученные в результате знания. В модели полностью изменяется стратегия образовательного процесса "от знаний к проблеме" на стратегию "от проблемы к знаниям" [6]. Считается, что "потребление" готовых достижений науки не может сформировать в сознании студентов модель будущей реальной деятельности [6]. Суть проблемной организации учебного процесса заключается в организации творческого подхода к освоению учебного материала. Так что, преподаватель, выступая в роли модератора, ставит перед студентами проблемную задачу. При этом студенты самостоятельно ищут решение проблемы, оценивая при этом свои интеллектуальные возможности и необходимость получения определенных знаний для решения поставленной проблемы.

Очевидным недостатком данной модели является отсутствие определенной базовой части в получении знаний, необходимых для получения новых знаний и генерации нестандартных методов решения научных задач. Существует возможность необоснованного использования ресурсов образовательного процесса на получения бесполезного знания в условиях отсутствия опыта решения типовых задач в области будущей профессиональной деятельности выпускника.

В Российской Федерации происходит быстрое изменение методов и форм ведения образовательного процесса с целью формирования компетенций выпускника, конкурентоспособного на рынке труда и способного к быстрой адаптации в меняющейся экономической ситуации. Появляются новые образовательные организации самой различной конфигурации, самого различного предназначения, предлагающих обучение, что называется, "на все случаи жизни", применяющие различные

модели обучения. Это означает, что ведущие университеты должны непрерывно вести поиск и совершенствование моделей обучения. Должны использовать положительные стороны существующих апробированных моделей и искать пути ухода от недостатков [12].

Очевидно, что ни одна из перечисленных в статье моделей обучения не может быть отвергнута на данном этапе формирования образовательного процесса в высшей школе. Необходим компромисс, сочетающий в себе все положительные стороны образовательного процесса. Следует отметить, что доминирующая сегодня модель российского образования – модель конвейера – исчерпала свои возможности для решения базовых задач российского образования. Необходим переход на следующий уровень – сетевую модель, избегая при этом присущих ей недостатков путем добавления положительных элементов, присущих иным моделям. При этом значительные изменения предстоят структуре вуза и системе его управления. Для оценки действенности моделей обучения необходима диверсификация процессов аккредитации вузов – введение полноценной общественной или академической аккредитации. Это обеспечит проведение оценки качества непосредственно самого образовательного процесса вместо проводимого при аккредитации Рособрнадзором мониторинга качества документов, регламентирующих образовательный процесс.

Информационное содержание образовательного пространства в большой степени предопределено стратегией развития российской экономики и социальной сферы. В горизонте до 2020 г. большинство экспертов предсказывает российской экономике "сырьевое будущее", далее до 2030 года предстоит догоняющая модернизация, приводящая к "локальному лидерству", которая последовательно должна перейти в стадию глубокой модернизации всех отраслей экономики и социальной сферы, присущую "когнитивному обществу" [3]. Некоторые эксперты считают, что "сырьевое" развитие России является достаточно инерционным и будет в значительной мере определять экономический контекст существования высшей школы в ближайшие 10 лет. Тем не менее, есть шансы на развертывание "догоняющей модернизации" и даже достижения локального (в отдельных высокотехнологических отраслях) лидерства. Отсюда следует, что в ближайшей перспективе сохранится преобладание спроса

на "общее" высшее образование, в основном бакалавриат. Такое, уже традиционное и самое массовое в последние годы, образование позволяет выпускникам проще включаться в региональную экономику. По прежнему спрос на более высокий уровень образования и профессионализм, соответствующий уровню магистратуры будет значительно ограничен. Тем более "сырьевой" экономикой будут мало результаты научных исследований и разработок (аспирантура). Очевидно, что в этих условиях будет падать заказ на выпускников со стороны российской экономики. При этом вуз должен ориентироваться на реализацию своей активной позиции в области инновационного предпринимательства [13], на работу на мировом рынке образования, на проведение исследований и разработок по перспективным проектам, финансируемым в рамках стратегии развития российской экономики и с учетом ее реальных тенденций развития [14,15]. Подобные возможности сейчас имеются отнюдь не у всех российских вузов. Большинство российских вузов строит стратегию своего развития, ограничиваясь лишь массовизацией "общего" высшего образования в форме бакалавриата. Учитывая, что в ближайшие годы высшая школа столкнется с резким сокращением числа абитуриентов вследствие уменьшения количества выпускников средней школы и предыдущим этапом массовизации, таким вузам придется активно бороться за абитуриентов, причем в условиях проводимой Рособрнадзором "оптимизации" (ликвидацией "слабых" вузов или филиалов.

Литература

1. Лепеш Г.В. Постановка и решение научно-технических проблем в нетехническом вузе. // Техничко-технологические проблемы сервиса. –2014, №1(27), с.3– 5.
2. Лепеш Г.В. Качество образования и вузовская наука . Техничко-технологические проблемы сервиса. –2013. №2(24),. С.3– 5.
- 3.Клячко Т.Л. Высшее образование: больше, лучше или дешевле? //Демоскоп Weekly. –2016. № 669-670.URL: <http://demoscope.ru/weekly/2016/0669/demoscope669.pdf> (дата обращения 01.05.2017).

4. Лепеш Г.В. Место прикладного бакалавриата в системе подготовки кадров для сферы сервиса. Техничко-технологические проблемы сервиса. –2015. №3(33),. С.3– 5.
5. Лепеш Г.В. Применение информационных технологий при подготовке инженерных кадров.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2016. №3(37), С.14– 23
6. Сухенко Н.В. Развитие российской модели обучения в системе высшего образования./ Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия Социальные науки, –2011. № 2 (22), с. 61–65/
7. Лепеш Г.В. Подготовка специалистов в области энергоэффективности как приоритетная задача образования.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2014, №2(28), с.3– 5.
8. Лепеш Г.В. Активизация подготовки специалистов сфере ЖКХ. Техничко-технологические проблемы сервиса. –2014, №3(29), г. С.3– 5.
9. Балацкий Е. В., Екимова Н.А. Рынок высшего экономического образования в России: от рационализации к квазидемпингу.// Проблемы развития системы высшего образования, [текст] URL: www.diss.seluk.ru (дата обращения 01.05.2017).
10. Нелинейная модель российского высшего образования в макрорегионе: теоретическая концепция и практические возможности: монография / Г. Е. Зборовский, П. А. Амбарова, В. С. Каташинских и др. / под ред. Г. Е. Зборовского.– Екатеринбург : Гуманитарный университет, –2016. – 336 с.
11. Бекарев А.М. Рынок знаний: анатомия продаж и нравственные коллизии / А.М. Бекарев // Безопасность человека, общества, природы в условиях глобализации как феномен науки и практики. Часть 1. Москва-Йошкар-Ола: МарГТУ, –2005. с. 17.
12. Лепеш Г.В. Системная подготовка кадров по сервисным направлениям.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2015. №1(31), С.3– 5.
13. Лепеш Г.В. Повышение роли инновационных технологических центров в современных условиях реализации проблемно-ориентированного обучения.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2016, №1(35), с.3– 5
14. Лепеш Г.В. Формирование научно-педагогической школы как фактора структурного совершенствования вуза.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2017, №1(39), С.14– 17.
- 15.Лепеш Г.В. Научная деятельность в стратегических задачах современности.// Техничко-технологические проблемы сервиса. –2012, №1(19), с. 3 – 6.

**ДИАГНОСТИКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ ШАССИ
САМОЛЁТА БОИНГ-777 МЕТОДАМИ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ**А.А. Колосков¹, Д.А. Иванов²*Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации
196210, Санкт-Петербург, ул. Пилотов, 38*

Данная статья посвящена оценке влияния отсутствия в программе технического обслуживания элементов системы шасси самолёта Боинг-777 неразрушающих методов контроля на выявление дефектов в их начальной стадии

Ключевые слова: программа технического обслуживания, неразрушающие методы контроля, выявление дефектов.

**DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF THE CHASSIS OF THE
BOEING-777 PLANE BY METHODS OF NONDESTRUCTIVE CONTROL**

A.A. Koloskov, D.A. Ivanov

Saint-Petersburg state university of civil aviation, 196210, st. Petersburg, str. Pilotov, 38

This article is dedicated to the evaluation of the influence of the absence in the program of the maintenance of the elements of the system of chassis of aircraft Boeing-777 the nondestructive methods of control to the detection of defects in their initial stage.

Keywords: the program of maintenance, the nondestructive methods of control, the detection of defects.

Важнейшим элементом повышения надежности эксплуатации любой технической системы является организация системы технического обслуживания (ТО) и ремонта (Р), представляющая собой комплекс мероприятий, направленных на поддержание системы в работоспособном состоянии, предупреждение аварийных ситуаций, а также на оптимизацию их работы для того чтобы обеспечить максимальную экономическую эффективность [1 – 3]. Надежность эксплуатации авиационной техники напрямую зависит от эффективности выстроенной системы ТО и Р.

Весь комплекс работ по техническому обслуживанию условно можно разделить на три уровня [3]: профилактическое обслуживание [планово-предупредительное обслуживание (ППО)], коррективное обслуживание (устранение неполадок) и предсказательное обслуживание (изучение статистических данных, мониторинг вибраций и визуальный контроль и др.) –

т.е. обслуживание по техническому состоянию (ОТС).

Обслуживание по техническому состоянию авиационной техники связано с проведением комплекса диагностических мероприятий по выявлению и идентификации дефектов методами неразрушающего контроля. Наибольшую трудность представляет собой диагноз состояния структуры и свойств материалов используемых для изготовления элементов конструкций авиационной техники.

Достоверно установлено [4 – 8], что изменения структуры и свойств металлических материалов, в том числе используемых для изготовления элементов конструкций авиационной техники, возникающие при обдуве дозвуковыми нестационарными воздушными потоками могут оказывать, в зависимости от направления и амплитудно-частотных характеристик натекающего потока, как положительное, так и отрицательное влияние на конструктивную прочность элементов.

¹Колосков Александр Александрович – аспирант кафедры авиационной техники и диагностики СПбГУГА, тел.: +7 926 904 50 55, e-mail: koloskov16@gmail.com

²Иванов Денис Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры авиационной техники и диагностики СПбГУГА, тел.: +7 981 764 08 22, e-mail: tm_06@mail.ru

Поэтому элементы конструкции воздушных судов, подвергающиеся в процессе эксплуатации воздействию нестационарных воздушных потоков, нуждаются в должном контроле на предмет образования трещин, и, более того, областей с повышенной плотностью дефектов кристаллического строения, которые также могут являться концентраторами напряжений.

Так 6 июля 2014 года при торможении воздушного судна (ВС) Боинг-777 регистрационный номер VP-BJB на пробеге после приземления экипаж ощущал колебания по курсу типа «шимми», парировавшиеся только интенсивным отклонением педалей [9]. После расшифровки информации, записанной средствами объективного контроля, снятой с mQAR, было зарегистрировано воздействие на ВС на этапе пробега знакопеременных боковых перегрузок до 0.25-0.3 единиц и колебание курса в пределах 3-4 градусов. После выполнения процедуры поиска неисправностей в соответствии с руководством по поиску и устранению неисправностей на левой стойке шасси была обнаружена трещина в левой проушине нижнего звена шлиц-шарнира в месте его крепления к проушине штока амортизатора. Трещина носила усталостный характер, начиналась с боковой стороны проушины от бронзовой втулки, проходила через всю ширину проушины и заканчивалась выходом в ее противоположную боковую поверхность. (рис. 1).



Рисунок 1 – Трещина в проушине нижнего звена шлиц-шарнира [9].

Таким образом, не обеспечивалась жесткость соединения болтом нижнего звена шлиц-шарнира с узлами крепления штока

амортизатора и создавался значительный люфт. В качестве сопутствующего фактора, повлиявшего на возникновение «шимми», был обнаружен люфт в верхнем узле шлиц-шарнира из-за повышенных зазоров в местах крепления верхнего звена шлиц-шарнира к внешнему цилиндру. Также на развитие «шимми» повлияло снижение эффективности демпфера «шимми» из-за износа штока демпфера в месте установки сферических шайб, обусловленное значительной наработкой демпфера при больших люфтах в узлах шлиц-шарнира. При анализе данного события необходимо учитывать тот факт, что никаких штатных проверок узла шлиц-шарнира основной стойки шасси в условиях эксплуатации программой технического обслуживания (ТО) не предусмотрено.

При анализе Раздела «ТО систем» программы, кроме типовых операционных проверок резервной системы выпуска шасси, общего визуального осмотра его элементов (механизмов приводов выпуска-уборки шасси, замков выпущенного и убранного положения, состояния шин колес и пинов тормозных устройств), сервисного обслуживания (заправка азотом и маслом), определен пункт ТО с номером 32-220-00 (MPDITEM), номером категории работы 8 (скрытый, влияющий на безопасность полета) и видом работы – «восстановление». Этот пункт ТО содержится и в разделе «ТО компонентов» программы, ограничивающем использование отдельных компонентов. Порог выполнения пункта ТО 32-220-00 составляет 16000 циклов или 10 лет (что наступит первым). Этот пункт предусматривает снятие основной стойки шасси и отправку ее в специализированный цех ТО компонентов, сертифицированный на выполнение ТО основной стойки шасси по форме «Капитальный ремонт». Нарботка левой основной стойки шасси Ч/Н 161W2100 на момент неисправности составила 14 лет и 11364 цикла. Стойка проходила 1 плановое ТО по форме «Капитальный ремонт». К основной стойке шасси Ч/Н 161W2100 применим СММ32-11-65 фирмы Боинг, регламентирующий все аспекты ее ТО. На форме «Капитальный ремонт» производится полная разборка компонента, чистка, проверка, ремонт (если требуется) и сборка. Раздел «Проверка» СММ32-11-65 включает специальный детальный контроль с использованием НМК (магнитопорошковый и капиллярный) около 30 составляющих основной стойки шасси. Среди них болты, гайки и шайбы крепления отдельных звеньев шлиц-шарнира между собой, и к проушинам внешнего цилиндра и амортизатора. Что касается звеньев самого шлиц-шарнира, то рекомендации СММ

ограничиваются только общим визуальным контролем на предмет повреждения и коррозии. По результату проведенного ТО определяется интервал следующего ТО. В случае отсутствия значительных ремонтов на внешнем цилиндре и амортизаторе, интервал по умолчанию остается равным начальному порогу – 16000 циклов или 10 лет. В разделах «Структурное ТО» и «ТО согласно ограничений летной годности» какие-либо пункты ТО на основном шасси также не предусмотрены. Таким образом, на основании анализа документации, регламентирующей плановое ТО основной стойки шасси, можно сделать вывод, что на протяжении как сервисного цикла основной стойки шасси, так и при выполнении регламентных тяжелых работ, неразрушающий контроль звеньев шлиц-шарнира на предмет зарождающихся трещин, невидимых для человеческого глаза (даже вооруженным сильными средствами помощи в визуализации – лупой, микроскопом и т. п.) не предусмотрен, и, разумеется, не выполнялся, что и послужило основной причиной усталостного растрескивания шлиц-шарнира Ч/Н 161W2232-2 в условиях эксплуатации. Данную причину можно классифицировать, как конструктивный недостаток, обусловленный назначением срока эксплуатации шлиц-шарнира по сроку эксплуатации основного изделия – основной опоры шасси, не установлением срока контроля ее состояния между ремонтами, в том числе неразрушающими методами контроля, отсутствием в регламентных проверках на ремонте неразрушающего контроля шлиц-шарнира. В качестве сопутствующего фактора, повлиявшего на возникновение трещины, был обнаружен люфт в верхнем узле шлиц-шарнира из-за повышенных зазоров в местах крепления верхнего звена шлиц-шарнира к внешнему цилиндру. Проверка узлов шлиц-шарнира на люфты также не предусмотрена в условиях эксплуатации и выполняется только в рамках руководства по поиску и устранению неисправностей (Fault Isolation Manual – FIM) при возникновении определенных дефектов.

27 ноября 2014 года при проведении стандартного предполетного осмотра воздушного судна Боинг-777 регистрационный номер VQ-BUD экипажем было выявлено место локального повреждения хромового покрытия на зеркале штока амортизатора правой основной стойки шасси. Произведена замена борта [9]. После вывешивания воздушного судна для полного выхода штока в ходе выполнения процедуры поиска неисправностей в соответствии с руководством по поиску и устранению неис-

правностей был локализован участок с повреждением хромового покрытия с размерами 60×60 мм, угловым положением «на 6 часов» по направлению полета и расстоянием от нижнего основания амортизатора 91 мм (см. рис. 2). В ходе дальнейшего осмотра штока амортизатора визуально была обнаружена индикация трещины хромового покрытия длиной 4 мм, перпендикулярно его оси, правее и ниже места повреждения хрома (рис. 3).

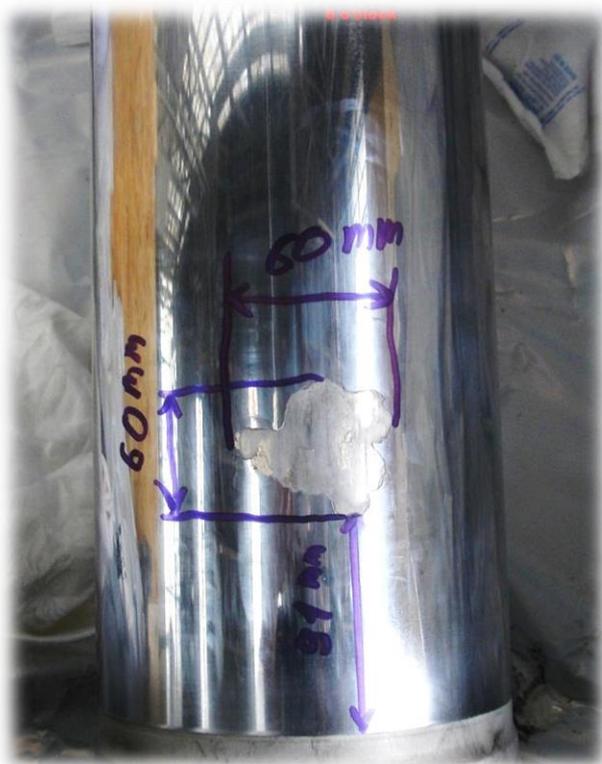


Рисунок 2 – Повреждение хромового покрытия на штоке амортизатора [9]



Рисунок 3 – Визуальная индикация трещины хромового покрытия [9]

При выполнении специального детального контроля с использованием НМК (флуоресцентной магнитопорошковой инспекции с помощью постоянного магнита) в данном месте было обнаружено еще 3 индикации растрескивания хромового покрытия длиной от 3 до 4 мм (рис. 4). После снятия хромового покрытия в этом месте и повторного проведения магнитопорошковой инспекции, были подтверждены трещины и в основном металле (сталь марки 4340М), которые имели более отчетливый характер и длину от 5 до 10 мм (рис. 5).

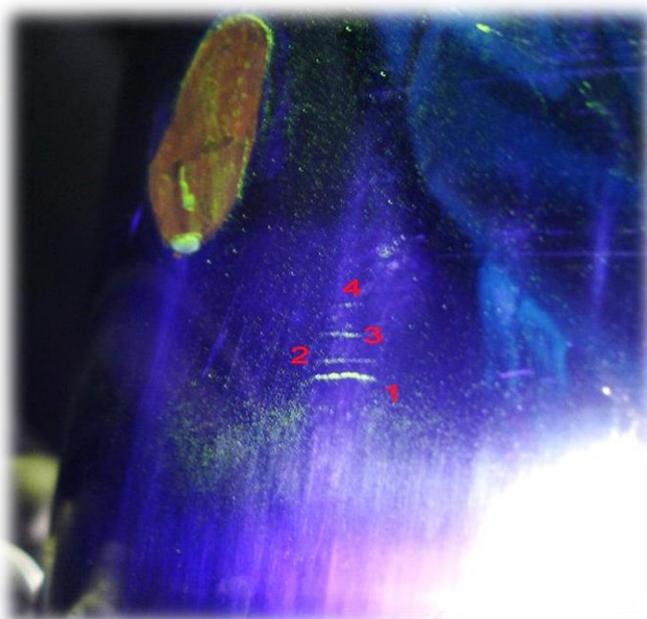


Рисунок 4 – Растрескивание хромового покрытия, обнаруженное с помощью флуоресцентной магнитопорошковой инспекции [9]

Следует отметить, что подобные явления наблюдались на амортизаторах Airbus Family (318-319-320-321 серий) на ВС операторов исключительно из стран СНГ. Как основной причиной, было определено попадание посторонних высокоабразивных частиц под кольцо грязесъемника, установленного ниже опоры уплотнителя и подшипника, что в совокупности с низким качеством покрытий взлетно-посадочных полос, выражавшемся в высокочастотных колебаниях амортизатора относительно внешнего цилиндра, создавало потенциал для повреждения хромового покрытия, а также для усталостного растрескивания хрома и основного металла.

При анализе данного события необходимо учитывать тот факт, что никаких штатных проверок штока амортизатора основной стойки шасси в условиях эксплуатации Программой ТО не предусмотрено.



Рисунок 5 – Растрескивание основного металла, подтвержденное магнитопорошковой инспекцией после снятия хромового покрытия [9]

При анализе раздела «ТО систем» Программы, кроме типовых операционных проверок резервной системы выпуска шасси, общего визуального осмотра его элементов (механизмов приводов выпуска-уборки шасси, замков выпущенного и убранного положения, состояния шин колес и пинов тормозных устройств), сервисного обслуживания (заправка азотом и маслом), определен пункт ТО с номером 32-220-00 (MPDITEM), номером категории работы 8 (скрытый, влияющий на безопасность полета – Hidden, Safety) и видом работы – «восстановление» (Restoration – RST). Этот пункт ТО содержится и в разделе «ТО компонентов» программы, ограничивающем использование отдельных компонентов. Порог выполнения пункта ТО 32-220-00 составляет 16000 циклов или 10 лет (что наступит первым). Этот пункт предусматривает снятие основной стойки шасси и отправки ее в специализированный цех ТО компонентов, сертифицированный на выполнение ТО основной стойки шасси по форме «Капитальный ремонт». Нарботка правой основной стойки шасси Ч/Н 161W2100 на момент неисправности составила 12 лет и 10234 цикла. Стойка проходила 1 плановое ТО по форме «Капитальный ремонт» согласно календарного

срока – 10 лет. Нарботка с ТО по Форме «Капитальный ремонт» составила 1750 циклов. Шток амортизатора Ч/Н 161W2120-2 на ТО не менялся. К штоку амортизатора, как и ко всей конструкции основного шасси Ч/Н 161W2100 применим СММ 32-11-65 фирмы Боинг, регламентирующий все аспекты ее ТО. На Форме «Капитальный ремонт» производится полная разборка компонента, чистка, проверка, ремонт (если требуется) и сборка. Раздел «Проверка» СММ 32-11-65 включает общий визуальный осмотр (в том числе и на отсутствие хрома на штоке) и специальный детальный контроль с использованием НМК (магнитопорошковый и капиллярный) около 30 составляющих основной стойки шасси. В их число входит и шток амортизатора, для которого предусмотрена проверка на стационарной установке с использованием магнитопорошкового метода. По результату проведенного ТО определяется интервал следующего ТО. В случае отсутствия значительных ремонтов на внешнем цилиндре и амортизаторе, интервал по умолчанию остается равным начальному порогу – 16000 циклов или 10 лет. Подобные явления растрескивания штока и потери хромового покрытия наблюдались на амортизаторах Airbus Family (318-319-320-321 серий) на ВС операторов исключительно из стран СНГ. Как основной причиной, было определено попадание посторонних высоко абразивных частиц под кольцо грязесъемника, установленного ниже опоры уплотнителя и подшипника, что в совокупности с низким качеством покрытий взлетно-посадочных полос, выражавшемся в высокочастотных колебаниях амортизатора относительно внешнего цилиндра, создавало потенциал для повреждения хромового покрытия, а также для усталостного растрескивания хрома и основного металла. Данная стойка в разное время устанавливалась на 2 ВС Боинг-777, каждое из которых большую часть своей летной истории эксплуатировалось в российских компаниях (ПАО «Аэрофлот» и ООО «Северный Ветер»). Лишь незначительный период (9 месяцев и 443 цикла) ВС с данной стойкой эксплуатировалось «Вьетнамскими Авиалиниями». Таким образом, стойка имеет значительную наработку на аэродромах стран СНГ. В Разделах «Структурное ТО» и «ТО согласно Ограничений Летной Годности» Программы какие-либо пункты ТО на основном шасси также не предусмотрены. Таким образом, на основании анализа документации, регламентирующей плановое ТО основной стойки шасси, можно сделать вывод, что на протяжении сервисного цикла основной стойки шасси, неразрушающий контроль штока амор-

тизатора на предмет зарождающихся трещин, невидимых для человеческого глаза (даже вооруженным сильным средством помощи в визуализации – лупой, микроскопом и др.) не предусмотрен, и разумеется, не выполнялся, что и послужило основной причиной усталостного растрескивания шлиц-шарнира Ч/Н 161W2232-2 в условиях эксплуатации. Данную причину можно классифицировать, как конструктивный недостаток, обусловленный назначением срока эксплуатации штока амортизатора по сроку эксплуатации основного изделия – основной опоры шасси и не установлением срока контроля его состояния между ремонтами, в том числе неразрушающими методами контроля, что необходимо было сделать, учитывая особенности эксплуатации ВС на аэродромах стран СНГ.

21 августа 2015 года на воздушном судне Боинг-777 регистрационный номер VP-BGF после заруливания на стоянку и выполнения послеполетного осмотра была обнаружена течь гидрожидкости в тормозном устройстве № 2 левой стойки шасси. Произведена замена тормозного устройства № 2 вместе с колесом. При визуальном осмотре в цеху специализированного ТО компонентов был обнаружен срез клапана подачи гидрожидкости в блок цилиндров (рис. 6).

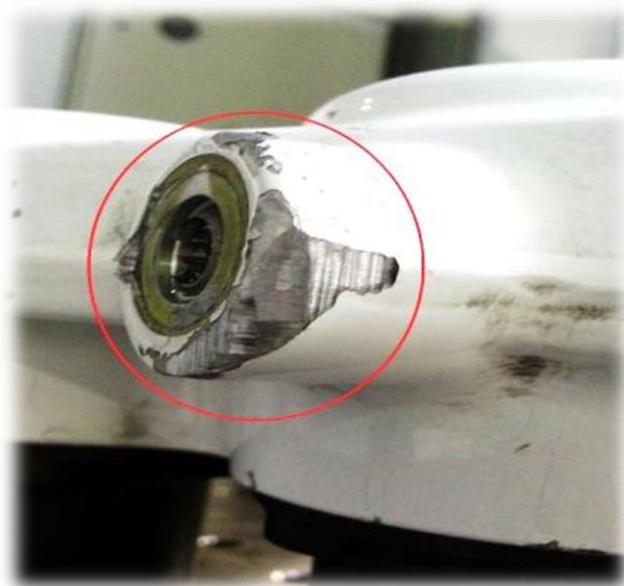


Рисунок 6 – Срез клапана подачи гидрожидкости в блок цилиндров тормозного устройства от резервной г/системы [10]

При дальнейшем осмотре колеса № 2 было установлено отсутствие металлической прокладки и болта крепления одной из направляющих тормоза (рис. 7). Также при осмотре

карбонового теплового пакета тормоза было обнаружено повреждение 4-го роторного диска (рис. 8) [10].



Рисунок 7 – Отсутствие металлической прокладки и болта крепления одной из направляющих тормоза [10]

При внутреннем расследовании дефекта в цеху специалистами была предложена следующая последовательность событий. В процессе торможения при наличии значительных радиальных нагрузок от роторных дисков, передававшихся направляющим тормоза, и далее их болтам крепления к внутренней половине колеса, произошло усталостное разрушение одного из болтов чертежный номер 43-1389. При этом вылетевшей гранью головки болта был поврежден 4 роторный диск тормоза, а освободившаяся массивная металлическая прокладка между направляющей и внутренней половиной колеса, на большой скорости срезала соседний клапан подачи гидрожидкости от резервной г/системы в блок цилиндров на тормозном устройстве.

Падение давления в гидросистеме не произошло, поскольку в тормозное устройство штатно подавалось давление от основной г/системы номер 1 через свой клапан. Однако находившаяся в патрубке и клапане подачи от резервной г/системы гидрожидкость образовала течь, ставшую видимой в ходе послеполетного осмотра. Найти разлетевшиеся части крепления направляющей не представилось возможным.

Налет колеса чертежный номер 3-1540 составил 9333 часа/1650 циклов. В ходе эксплуатации данное колесо проходило 4 последовательных ТО по форме «Замена шины» и 1 ТО по форме «Капитальный ремонт». Налет колеса после капитального ремонта составил 622 часа/103 цикла [7]. В ходе внеочередного капитального ремонта колеса был проведен капил-

лярный контроль оставшихся 8 болтов крепления рельс тормоза с использованием Типа 1, Метода А пенетранта, по 2 уровню чувствительности техникой погружения в бак, и применением проявителя формы «а». В процессе этого контроля был выявлен еще один болт с трещиной в 3-й резьбе по направлению от его тела (рис. 9).

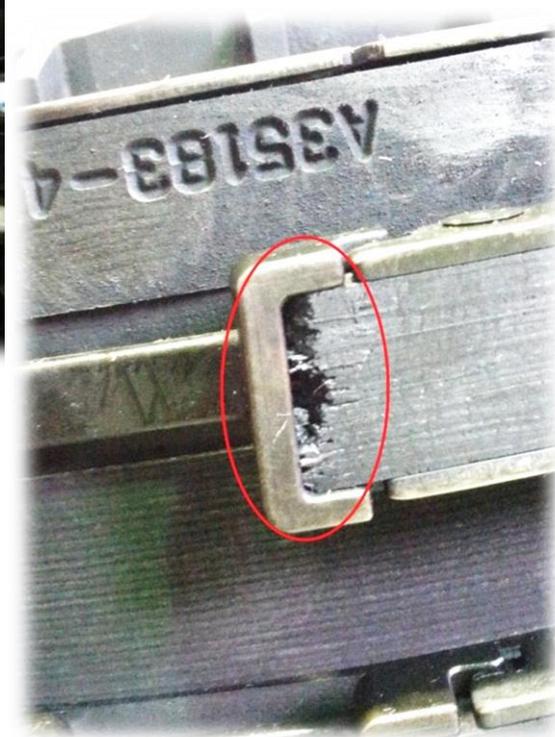


Рисунок 8 – Повреждение 4-го роторного диска карбонового теплового пакета тормозного устройства [10]

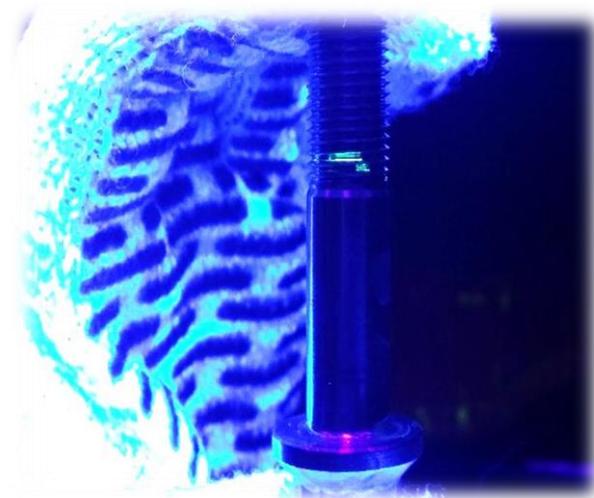


Рисунок 9 – Трещина в 3-й резьбе болта чертежный номер 43-1389, выявленная флуоресцентным капиллярным методом неразрушающего контроля [10]

Данное место является критическим в инспекции болтов. Как правило, трещины развиваются в радиусе головки болта, а также в 3 и 4 резьбах, то есть в местах крепления шайб и гаек. Эти места в крепежных болтах, испытывающих значительные радиальные усилия, являются наиболее нагруженными.

Следует отметить, что капиллярный контроль болтов крепления рельсов тормоза не является обязательным согласно раздела «Проверка» СММ 32-40-39. По форме ТО «Замена шины» вообще не предусмотрен какой-либо контроль этих болтов, поскольку не прописан демонтаж рельс тормоза и тепловых щитков, следовательно, нет необходимости их выкручивания. Что касается формы ТО «Капитальный ремонт», предусмотрен только обязательный визуальный контроль этих болтов на предмет отсутствия трещин и коррозии. Обнаружение незакрепленной к внутренней половине колеса направляющей тормоза, отсутствие на штатном месте болта крепления Ч/Н 43-1389 и металлической прокладки, а также характер повреждений (срез клапана подачи г/жидкости в блок цилиндров тормозного устройства от резервной системы и повреждение теплового карбонового пакета) указывает на то, что в процессе эксплуатации колеса произошел срез болта, обусловленный развитием своевременно не обнаруженной усталостной трещины в его резьбе. Как было упомянуто ранее, в ходе внеочередного капитального ремонта данного колеса был проведен капиллярный контроль оставшихся 8 болтов крепления рельс тормоза с использованием Типа 1, Метода А пенетранта, по 2 уровню чувствительности техникой погружения в бак, и применением проявителя формы «а». В процессе этого контроля был выявлен еще один болт с трещиной в 3-й резьбе по направлению от его тела. Данное место является критическим в инспекции болтов. Как правило, трещины развиваются в радиусе головки болта, а также в 3 и 4 резьбах, то есть в местах крепления шайб и гаек. Эти места в крепежных болтах, испытывающих значительные радиальные усилия, являются наиболее нагруженными. Дополнительно ускорить развитие трещины, либо даже стать причиной возникновения ее в 3 – 4 резьбе болта, может нарушение усилий по затяжке болтов.

В СММ32-40-39, регламентирующем ТО колеса, на котором установлен данный болт, в разделе «Допуски и посадки» в независимости от используемой консистентной смазки, момент затяжки гайки болта крепления тормоза составляет 38 Нм. Однако, по опыту эксплуатации в специализированных цехах по

ТО компонентов, встречаются случаи пренебрежения к данной строгой рекомендации не только в отношении болтов крепления направляющих, но и других элементов крепления, для которых в разделе «Допуски и посадки» также регламентируются моменты затяжек (гаек крепления балансировочных грузов, клапанов накачки, стравливания, термклапанов). По сути, строго выполняются лишь рекомендации по последовательности и моментам затяжек гаек силовых стяжных болтов (tiebolts), крепящих две половины колеса вместе. Следует отметить, что капиллярный контроль болтов крепления рельсов тормоза не является обязательным согласно раздела «Проверка» СММ 32-40-39. По форме ТО «Замена шины» вообще не предусмотрен какой-либо контроль этих болтов, поскольку не прописан демонтаж рельс тормоза и тепловых щитков, следовательно, нет необходимости их выкручивания. Что касается формы ТО «Капитальный ремонт», в ее рамках предусмотрен только обязательный визуальный контроль этих болтов на предмет отсутствия трещин и коррозии, что, учитывая предельно малую ширину раскрытия трещины, гарантирует выявление данного дефекта с помощью лупы только в конечной стадии его проявления, когда индикация уже носит обширный характер и опоясывает практически весь радиус болта.

Таким образом, данную причину можно классифицировать, как конструктивный недостаток, обусловленный отсутствием в регламентных документах на ремонтное обслуживание (СММ 32-40-39) указаний по проведению специальной детальной инспекции болтов крепления направляющих тормоза к внутренней половине колеса с использованием методов НМК, и дающих ссылку только на общий визуальный контроль на форме «Капитальный ремонт», имеющий интервал 1500 полетных циклов и не позволяющий выявить дефект в его начальной стадии.

Литература

1. Лепеш, Г.В. Оперативный контроль и диагностика оборудования/ Г.В. Лепеш, В.Н.Куртов, Н.Г.Мотылев и др.// Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2009. № 3(9). с.8 – 16.
2. Лепеш, Г.В. Современные методы и средства диагностики оборудования инженерных систем зданий и сооружений. // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2015. № 4(34). с. 3 – 8.
3. Лепеш Г.В. Диагностика и комплексное обслуживание инженерно-технических систем и оборудования зданий. // Техничко-технологические проблемы сервиса. – 2016. № 1(35). с.6 – 16.

4. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Обработка пульсирующим газовым потоком высокопрочных и пружинных сталей // Двигателестроение. – СПб., 2014, №3, с. 34-36.
5. Булычев А.В., Иванов Д.А. Воздействие газоимпульсной обработки на структуру, свойства и напряженное состояние металлических изделий // Технология металлов. – М., 2013, №11, с. 30-33.
6. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Использование пульсирующего дозвукового газового потока для повышения эксплуатационных свойств металлических изделий // Технология металлов. – М., 2015, №1, с. 34-38.
7. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Повышение коррозионной стойкости конструкционных сталей газоимпульсной обработкой // Технология металлов. – М., 2015, №10, с. 27-31.
85. Иванов Д.А., Засухин О.Н. Направления совершенствования технологии обработки металлических материалов пульсирующими газовыми потоками // Техничко-технологические проблемы сервиса. – СПб., 2015, №4, с. 15-21.
9. Выписка из Программы Надежности по 32 Разделу АТА ООО «Северный Ветер», NWSEngineering Department, 2016 – 14 с.
10. Выписка из Программы Надежности по 32 Разделу АТА ПАО «Аэрофлот – Российские Авиалинии», AFL Engineering Department, 2016 – 9 с.

УДК 628.2: 532.5

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЛИВНЕВОЙ КАНАЛИЗАЦИИ ГОРОДА

Н.Л. Великанов², В.А. Наумов³, С.И. Корягин⁴, А.В. Мойса⁵

^{1,3}*Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта (БФУ им. Канта), 236041, г. Калининград, ул. А. Невского, 14;*

²*Калининградский государственный технический университет (КГТУ), 236000, г. Калининград, Советский пр., 1*

⁴*Муниципальное бюджетное учреждение «Гидротехник» городского округа «Город Калининград» (МБУ «Гидротехник»), 236000, г. Калининград, ул. Леонова, д.36б*

Показано, что основными проблемами в работе сети дождевой канализации являются: неудовлетворительное техническое состояние коллекторов, локальные повреждения труб сети дождевой канализации и колодцев, засорение колодцев и коллекторов песком и бытовым мусором. В целях организации удаленного управления установленным оборудованием на объектах системы водоотведения, предлагается внедрение системы диспетчерского управления.

Ключевые слова: ливневая канализация, система водоотведения, суммы осадков.

IMPROVING THE SYSTEM STORM SEWER OF THE CITY

N. L. Velikanov, V. A. Naumov, S. I. Koryagin, A.V. Mojsa

The Baltic federal university of Immanuel Kant (BFU of Kant), 236041, Kaliningrad, st. A. Nevsky, 14;

Kaliningrad State Technical University (KSTU), 236000, Kaliningrad, Sovetsky Ave., 1;

Municipal budgetary institution "Hydrotechnik" of the urban district "City of Kaliningrad" (MBU "Gidrotechnik"), 236000, Kaliningrad, st. Leonova, 36b

It is shown that the main problems of rainwater drainage networks are: unsatisfactory technical condition of reservoirs, local damage to the pipe network of rain water drainage and wells, contamination of wells and reservoirs sands and household waste. In order to remote control the installed equipment at the facilities of the wastewater system, the introduction of supervisory control.

Keywords: storm sewer, drainage system, amount of precipitation

²*Великанов Николай Леонидович – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой машиностроения и технических систем, БФУ им. И. Канта, тел. 8 (4012) 595 585; e-mail: monolit8@yandex.ru;*

³*Наумов Владимир Аркадьевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой водных ресурсов и водопользования, КГТУ, тел. 8 (4012) 99 53 37; e-mail: vladimir.naumov@klgtu.ru;*

⁴*Корягин Сергей Иванович – доктор технических наук, профессор, директор инженерно – технического института, БФУ им. И. Канта, тел. 8 (4012) 595 585; e-mail: SKoryagin@kantiana.ru*

⁵*Мойса Алексей Викторович – директор МБУ «Гидротехник», тел. 8 (4012) 214331; e-mail: gidrotechnik@list.ru*

Атмосферные осадки попадают хаотично в водные объекты, на различные уровни подземных вод. Отведение атмосферных осадков производится в централизованную систему водоотведения в виде дождевых, талых, инфильтрационных (грунтовых) вод [1 – 9].

Атмосферные осадки расходуются в виде влаги на испарение воды растениями и испарение с поверхности почв.

Годовой объем сточных вод, поступающих в централизованную систему водоотведения, определяется в соответствии с методическими указаниями [7]. Настоящие методические указания регламентируют систему учета поверхностных сточных вод, отведенных в централизованную систему водоотведения.

Непосредственно, для выполнения расчета годового объема сточных вод, поступающих в централизованную систему водоотведения, необходимо знать общую площадь водосборного бассейна, включая площади различных поверхностей, расположенных на территории бассейна. Результаты расчетов для г. Калининграда представлены в табл. 1.

Таблица 1 – Площади поверхностей для расчета годового стока

Дождевые и талые воды	Площадь поверхности	
	м ²	га
Кровля	1 001 385,00 (45%)	100,14
Асфальтобетонные покрытия	778 855,00 (35%)	77,89
Бульжные и щебеночные покрытия	222 530,00 (10%)	22,25
Грунтовые поверхности	44 506,00 (2%)	4,45
Газоны	178 024,00 (8%)	17,80
ВСЕГО	2 225 300,00 (100%)	222,53

Для выполнения расчета объема сточных вод также необходимы данные по количеству осадков общему годовому, а также по месяцам [10-14].

По данным Калининградского ЦГМС на 22.06.2016 года, суммарное среднегодовое количество осадков для г. Калининграда — 846,50 мм. Их распределение по месяцам представлено в табл. 2,3.

Расчетные данные по годовому объему стока, представлены в сводной таблице 4.

Для определения секундного расхода воды на водоотведение, следует выполнить пе-

ревод годового объема сточных вод, поступающих в централизованную систему водоотведения, рассчитываемого в метрах кубических в год, в литры с секунду. Получим 16 134,06 л/с.

Параметры для расчета канализационной насосной станции представлены в таблице 5.

Таблица 2 – Количество осадков за холодный период года, мм.

Месяц	Ноябрь	Декабрь	Январь	Февраль	Март	Сумма
Кол-во осадков, мм.	84,6	75,2	71,6	52,3	53,3	337,0

Таблица 3 – Количество осадков за теплый период года, мм

Месяц	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Сумма
Кол-во осадков, мм.	38,2	55,1	80,6	78,4	97,8	75,8	83,6	509,5

Таблица 4 – Сводная таблица расчетных объемов сточных вод за год

Наименование стока	Объем
Дождевой сток (W гД ср.), м ³ /год.	764 295,08
Талый сток (W гТ ср.), м ³ /год.	449 355,72
Грунтовые воды, м ³ /год.	92 706,00
В том числе:	
Слой атмосферных осадков (Нг.ос.), мм ³ /год.	905,76
Сточные воды (Нг.отв.), мм ³ /год.	545,39
Слой атмосферных осадков на испарение (Нг.исп.), мм ³ /год.	278,32
Слой, учитывающий уборку в холодный период (Нг.отв.т.уб.), мм ³ /год.	40,39
Дренажный сток (Нг.отв.др.), м ³ /год.	0
Поливомоечный сток (Wм.), м ³ /год.	87 626,25
Поверхностные сточные воды (Wп.с.), м ³ /год.	1 393 983,05

Таблица 5 – **Параметры для расчета канализационной насосной станции**

Наименование параметра	Количество
Глубина залегания подводящего сбросного коллектора, диаметр 1000 мм.	2,00 м.
Глубина залегания напорного коллектора, диаметр 150 мм.	1,50 м.
Протяженность напорного коллектора, диаметр 150 мм.	15,00 м.
Разность геодезических высот в начале и конце трассы напорного коллектора	0
Производительность насосного оборудования в год	16134,06 л/с
Максимальный приток сточных вод	44 л/с
Характер сточных вод	дождевой сток

На основании данных таблицы 5. выбираем насосное оборудование, производительностью 44 л/с, и максимальным напором 15 метров. За основу берем насос марки Grundfos, модель SE 1.85.150.100.4.52H.C.N.51D.

В соответствии с рекомендациями производителя насосных агрегатов и СП [1], вместимость подземной емкости насосной станции следует рассчитывать исходя из расхода сточных вод, параметров насосной установки, предельной частоты включения электродвигателей и условий охлаждения насосного оборудования. Из всех требований, основное – это допустимая частота включений электродвигателя насоса, т.к. по притоку подбирается производительность насоса и учитывает этот параметр. Соответственно, расчет рабочего объема резервуара должен обеспечить условие, при котором, насосы не будут включаться больше допустимой частоты (указанной в паспорте на насос) при разном притоке в насосную станцию, меняющемся в зависимости от времени суток, т.к. это приведет к перегреву двигателя и поломке насоса.

Согласно технической документации производителей насосного оборудования, используемого при расчете времени цикла, равного 180 секундам рабочий объем КНС должен быть не менее 1,98 м³.

В соответствие с произведенными расчетами рабочего объема КНС, целесообразно выбрать канализационную насосную станцию FloTenk-KNS (рис. 1) для перекачивания дождевых стоков, производительность 44 л/с, напор до 15 м., на базе погружных канализационных насосов KSB.



Рисунок 1 – **Канализационная насосная станция FloTenk-KNS [15]**

Емкости выполнены из современного материала – стеклопластика.

На сегодняшний день, отведение дождевых сточных вод с территории города Калининграда выполняется за счет комбинированной системы водоотведения, представленной общесплавной и дождевой канализацией.

Прием и транспортировка поверхностных сточных вод, которые включают в себя дождевые, талые, поливочные и дренажные воды, производится по самотечным коллекторам с установленными на них КНС. Сточные воды, образуемые в следствие выпадения осадков, поступают в систему водоотведения через дождеприемные колодцы, установленные на коллекторах дождевой канализации. После прохождения по коллекторам дождевой канализации, поверхностные сточные воды поступают в естественные и искусственные водотоки, проходящие по территории города. Большая часть водовыпусков не оборудована очистными сооружениями, что оказывает отрицательное влияние на состояние водной системы и общую экологическую ситуацию в целом.

Основной водной артерией города Калининграда является река Преголя с впадающими в нее 14 водотоками, образующими вместе городскую водную систему. Система водоотведения города Калининграда тесно связана с колебаниями уровня воды в реке Преголя и с уровнем воды в Калининградском заливе.

Дренажная сеть представлена в виде открытой (каналы, кюветы, ручьи, лотки) и закрытой (самотечные трубопроводы) системой. В настоящее время в городе Калининграде функционируют как довоенные, так и новые дренажи.

Открытая осушительная сеть

производит отвод излишков воды, образовавшихся в период весеннего половодья, выпадения обильных осадков, из поймы рек Товарная, русла Новая и Старая Преголя, Лаковка, Лесной, ручья Воздушного, Восточного и Лесного.

Существуют несколько типов закрытой дренажной сети. Для старой застройки характерен локальный дренаж отдельных зданий. Кроме того, имеется дренаж магистральных улиц и сопутствующий дренаж подземных коммуникаций.

На территории одноэтажной застройки распространен индивидуальный дренаж жилых домов, водоотведение осуществляется преимущественно сетью каналов. В некоторых случаях дренажи отсутствуют, подвалы защищены гидроизоляцией.

На незастроенной территории расположен сельскохозяйственный дренаж с небольшой глубиной заложения, с густой сетью между дренами. Этот тип дренажа совмещен с открытой сетью и распространен в северной, северо-западной частях города, в южной части преобладает открытая сеть.

В городе Калининграде имеется широкая сеть дождевой канализации, как открытой, так и закрытой. Коллектора существующей дождевой канализации города Калининграда выполнены из бетонных, железобетонных, керамических и пластиковых труб, диаметром от 150 до 1900 мм. Общая протяженность коллекторов составляет 638 км.

До 1905 года в историческом кольце города велось строительство общесплавной канализации. По мере расширения городской застройки, строительство канализации осуществлялось по раздельной системе с водоотведением от отдельных бассейнов стока в водоемы и водотоки.

В состав сети дождевой канализации входят дождеприемные и смотровые колодцы, соединительные трубы, водоотводные и сбросные коллекторы с выпусками-оголовками.

Водная система города Калининграда приурочена к бассейну реки Преголя.

Все ее притоки делятся на искусственные (питьевой канал, река Голубая, значительное количество малых каналов, относящихся к системе центральной водопроводной станции) и естественные (реки, ручьи, водоемы).

Водная система города, помимо рекреационной и эстетической, несет в себе функцию естественного дренирования территории. Поэтому от состояния водных объектов, степени их благоустройства, зависит

санитарно-гигиеническое и эколого-градостроительное благополучие городской территории. Для поддержания водных систем в рабочем состоянии необходимо проведение плановых работ по очистке русел от донных отложений, регулярные сезонные работы по очистке акваторий и прибрежной защитной полосы водных объектов и полос обслуживания (окос, уборка мусора), очистка поверхностных сточных вод.

К гидротехническим сооружениям, расположенных на водотоках города, относятся: дюкеры, сороудерживающие решетки, очистные сооружения, КНС.

На сегодняшний день, перекачку поверхностных сточных вод выполняют 9 КНС, установленных на сетях системы централизованного водоотведения.

Общее количество существующих городских очистных сооружений на водотоках города — 12 штук. Они служат для предотвращения загрязнения водоемов взвешенными веществами, нефтепродуктами и т.п.

Поверхностные сточные воды, попадая на очистные сооружения, проходят две стадии очистки — отделение взвешенных веществ и удаление нефтепродуктов. В результате очистки вод от взвешенных веществ, образуется осадок, содержащий частицы песка и глины. При накоплении осадка производится очистка очистных сооружений, при этом отходы вывозятся на полигоны ГП КО «ЕССО» по адресу: Калининградская область, Неманский район, пос. Круглово или Барсуково.

Помимо городских очистных сооружений, у части абонентов, отводящих стоки дождевой канализации в централизованную систему водоотведения, установлены локальные очистные сооружения. Локальными очистными сооружениями оборудованы многоквартирные жилые дома, социально-культурные объекты, производственные здания.

На сегодняшний день в городе Калининграде существует централизованная система водоотведения поверхностного стока. Транспортировка стоков осуществляется за счет системы самотечных и напорных коллекторов. Для последующей транспортировки стоков, в местах где не возможен самотечный режим работы сети, установлены КНС. Протяженность сетей дождевой канализации составляет 638 км., в том числе внутриквартальные сети — 382 км., уличные сети — 256 км.

Основными проблемами в работе сети дождевой канализации являются: неудовлетво-

рительное техническое состояние коллекторов, локальные повреждения труб сети дождевой канализации и колодцев, засорение колодцев и коллекторов песком и бытовым мусором.

Состояние сети дождевой канализации города Калининграда оценивается как неудовлетворительное. Территория города не охвачена в полной мере централизованной системой дождевой канализации и закрытой дренажной сетью. Физический износ большей массы существующих коллекторов составляет 20-100%, на значительной части территории города сети системы водоотведения вообще отсутствуют. Таким образом, даже при незначительном выпадении осадков местами происходит подтопление придомовых и дворовых территорий, проезжей части и тротуара. В следствие чего происходит размыв грунта и разрушение асфальтового покрытия.

Положение усугубляется природными и климатическими факторами, характерными для территории региона, способствующими развитию процесса заболачивания и подтоплению. К ним относятся:

- переувлажнение территории, связанное с большим количеством атмосферных осадков в условиях гумидного климата (тип климата в областях с избыточным увлажнением, при котором количество атмосферных осадков больше, чем может испариться и просочиться в почву. Это формирует обильный поверхностный сток ручьев и рек, что способствует развитию эрозионных форм рельефа, густой гидрологической сети и процветанию влаголюбивых форм растительности);

- равнинный рельеф;
- суглинистые грунты, обладающие низкими фильтрационными свойствами и слабой водопередачей;
- близкое к поверхности залегание грунтовых вод.

Одной из актуальных на сегодняшний день проблем, является отсутствие очистных сооружений на выпусках в водные объекты при отводе поверхностного стока с селитебных и промышленных территорий. В следствие чего, происходит загрязнение водоемов и водотоков взвешенными веществами, нефтепродуктами, что не допустимо для водных объектов рыбохозяйственного назначения.

Остро стоит вопрос выявления и предотвращения несанкционированного сброса хозяйственно-бытовой канализации в водоемы и водотоки, а также незаконные подключения (врезки) граждан в коллектора дождевой канализации. В большинстве своем, не санкционированный сброс характерен для районов мало-

этажной и частной застройки, а также дачных обществ. Несанкционированный сброс усугубляет загрязнение водоемов и водотоков.

Для четкой и своевременной работы по поддержанию работоспособности сетей и сооружений дождевой канализации и постоянного контроля за их техническим состоянием необходимо проведение мероприятий по передаче информации от сетей дождевой канализации и дренажа. Это даст возможность проводить работы по реализации утвержденной схемы дождевой канализации и гидросистемы города Калининграда, а также контролировать количество и качество сбрасываемых в водоток поверхностных вод.

На сегодняшний день, на объектах системы дождевой канализации отсутствуют системы диспетчеризации и телемеханизации. Регулирование работы насосных установок в КНС производится за счет установленных в приемных камерах поплавковых выключателей. В нефтеотделителях очистных сооружений установлена система сигнализации, оповещающая о необходимости прочистки нефтеулавливающих коалисцентных модулей.

В целях организации удаленного управления установленным оборудованием на объектах системы водоотведения, предусматривается внедрение системы диспетчерского управления. Данная система управления подразумевает наличие центрального пункта управления, куда будет приходить информация о текущих параметрах работы КНС и очистных сооружений, а также информация об изменении уровня воды в водотоках.

Из-за специфики работы очистных сооружений дождевой канализации и состав технологического оборудования, на очистных сооружениях следует производить следующие изменения:

- * расход сточных вод, поступающих на очистку;
- * расход очищенных сточных вод;
- * уровень загрязнения на коалисцентных элементах нефтеотделителя.

Для производства контроля изменении уровня воды в водотоках следует выполнить:

- * установку аквауровней на водотоках;
- * установку поплавков;
- * устройство шиберных задвижек на водовыпусках в водотоки.

Таким образом, создание общей автоматизированной диспетчерской системы регулирования водоотведения позволит оптимизировать работу системы водоотведения, решить проблему подтопления территорий, а также

минимизировать загрязнение окружающей среды дождевыми сточными водами.

На рис. 2 представлен годовые суммы осадков в Калининграде по скользящим пятилетиям. Данные о суммах осадков в городе до 1994 годы взяты из книги [10] (с учетом восстановленных значений), с 1995 по 2015 годы из архива [11]. Линейный тренд показывает возрастание годовых сумм осадков за период наблюдений на 178 мм. Средняя годовая сумма осадков за весь период наблюдений 752 мм.

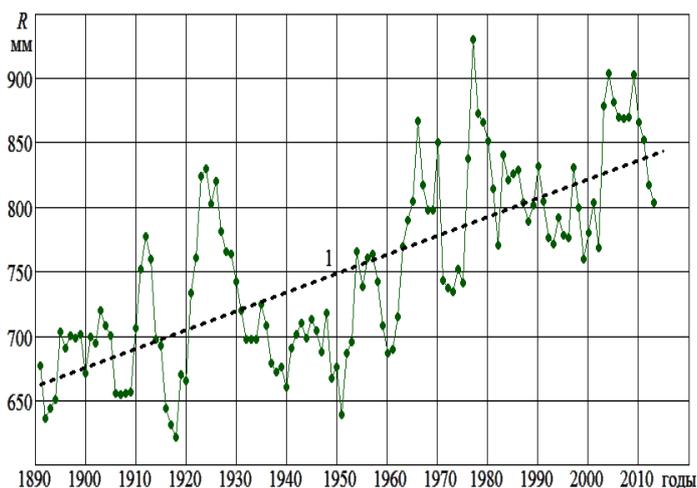


Рисунок 2 – Годовые суммы осадков в Калининграде по скользящим пятилетиям: 1 – линейный тренд

Расчеты сумм осадков в Калининграде выполнены по данным [12]. По рис. 3 видно, за счет осадков в каких месяцах произошло возрастание. Монотонный существенный рост осадков: январь-март, июнь; уменьшение в сентябре, небольшое уменьшение в июле.

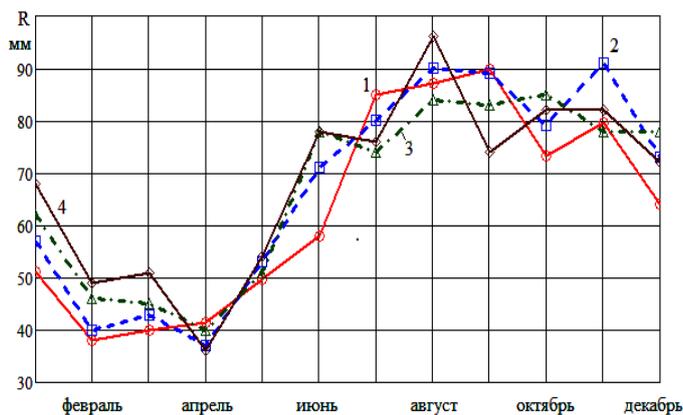


Рисунок 3 – Среднемесячные суммы осадков в Калининграде: 1 – 1951-1980 годы; 2 – 1961-1990; 3 – 1971-2000; 4 – 1981-2010

По табл. 6 средняя сумма осадков за теплый период года (апрель-октябрь) выросла

на 12 мм, по сравнению с данными СП [13] всего +3 мм. За холодный период года рост составил 49 мм (+16 мм по сравнению с СП [13]).

Таблица 6 – Суммы осадков в городе Калининграде, мм

Сезон	По СП [13]	Период расчета средних сезонных сумм осадков				Изменение сумм осадков за 1981-2010 годы по сравнению с	
		1951-1980	1961-1990	1971-2000	1981-2010	1951-1980	СП [13]
апрель-октябрь	493	484	499	495	496	+12	+3
ноябрь-март	306	273	304	309	322	+49	+16
Год	799	757	803	804	818	+61	+19

В СП [13] приведен максимальный суточный максимум осадков 118 мм, который был зафиксирован 10 августа 2005. С точки зрения утвержденных расчетных методов необходима не величина фактически наблюдаемых осадков, а значение определенной обеспеченности (вероятности превышения). За период наблюдений 1891-1962 годы такие данные приведены в [14] (первая строка табл. 7). За 1963-2010 годы расчет выполнен по данным [11, 12]. Максимальные расчетные суточные осадки однопроцентной обеспеченности возросли с 120 до 127 мм.

Выводы

Уточнение методики расчета ливневой канализации является актуальной задачей, поскольку точность прогнозирования осадков не может быть повышена без учета современных данных по метеорологическим наблюдениям.

Рассмотрены годовые суммы осадков в Калининграде по скользящим пятилетиям. Получено, что за 1963 – 2010 годы максимальные расчетные суточные осадки однопроцентной обеспеченности возросли с 120 до 127 мм.

Таблица 7 – Суточные максимумы осадков заданной обеспеченности по метеостанции Калининград, мм

Период	Среднее значение	Вероятность превышения, P %						Максимум наблюдений	
		0,1	0,5	1	2	5	10	величина	дата
1891-1962	39	198	141	120	101	79	64	110	1912, август
1963-2010	45	206	149	127	108	85	70	118	2005, август

Показано, что основными проблемами в работе сети дождевой канализации являются: неудовлетворительное техническое состояние коллекторов, локальные повреждения труб сети дождевой канализации и колодцев, засорение колодцев и коллекторов песком и бытовым мусором.

В целях организации удаленного управления установленным оборудованием на объектах системы водоотведения, предлагается внедрение системы диспетчерского управления.

Литература

- СП 32.13330.2012. Канализация. Наружные сети и сооружения. Актуализированная редакция СНиП 2.04.03-85 (с Изменением N 1). Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 29 декабря 2011 г. N 635/11 и введен в действие с 01 января 2013 г.
- СП 129.13330.2012. Свод правил. Наружные сети и сооружения водоснабжения и канализации. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г., № 275 и введен в действие с 1 января 2013 г.
- СП 66.13330.2011. Свод правил. Проектирование и строительство напорных сетей водоснабжения и водоотведения с применением высокопрочных труб из чугуна с шаровидным графитом. Утвержден при-

казом Министерства регионального развития Российской Федерации от 28 декабря 2010 г., № 821. Введен в действие с 20 мая 2011 г.

4. СП 40-102-2000. Проектирование и монтаж трубопроводов систем водоснабжения и канализации из полимерных материалов. Общие требования. Одобрен и рекомендован к применению в качестве нормативного документа постановлением Государственного комитета Российской Федерации по строительству и жилищно-коммунальному комплексу от 16.08.2000 г., № 80.

5. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г., № 275 и введен в действие с 1 января 2013 г.

6. Рекомендации по расчету систем сбора, отведения и очистки поверхностного стока с селитебных территорий, площадок предприятий и определению условий выпуска его в водные объекты. Утвержден 28.12.2005 ФГУП НИИ ВОДГЕО. Москва-2006 г.

7. Методических указаний по расчету объема принятых (отведенных) поверхностных сточных вод. Утвержден Приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства России от 17.10.2014 N 639/пр.

8. Расчет емкости приемного резервуара канализационных насосных станций с погружными насосными агрегатами / Водоснабжение и санитарная техника / Дягилев М.А. - М., 2009, №11.

9. Расчет емкости приемного резервуара канализационной насосной станции / Водоснабжение и санитарная техника / Дягилев М.А. - М., 2014, №1.

10. Барина Г.М. Калининградская область: Климат. – Калининград: Изд-во «Янтарный сказ», 2002. – 196 с.

11. Специализированные массивы для климатических исследований [Электронный ресурс]. URL: http://www.meteo.ru/climate/sp_clim.php (дата обращения: 01.01.2016).

12. Погода и климат. Архив погоды [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pogoda.ru.net/archive.php> (дата обращения: 19.07.2016).

13. СП 131.13330.2012. Свод правил. Строительная климатология. Утвержден приказом Министерства регионального развития Российской Федерации от 30 июня 2012 г., № 275 и введен в действие с 1 января 2013 г.

14. Ресурсы поверхностных вод СССР. – Т. 4, вып. 3. Литовская ССР и Калининградская область РСФСР / Под ред. В.Е. Водогрецкого. – Л.: Гидрометеоздат, 1969. – 508 с.

15. Канализационные насосные станции (КНС). Проектирование, производство, монтаж канализационных насосных станций [Электронный ресурс]. URL: <http://www.flotenk.ru/products/kns/> (дата обращения: 17.06.2017).

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ ТЕХНИКИ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ ВОЙСК С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

В.Е. Зарезин¹, П.В. Дружинин², А.А. Коричев³

^{1,2}Военная академия материально-технического обеспечения им. генерала армии
А.В. Хрулева (ВА МТО им. А.В. Хрулева), 199034, Санкт-Петербург, наб. Макарова, 8;

³Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21

Статья посвящена применению ультразвуковых технологий для повышения качества ремонта деталей техники Железнодорожных войск, с целью увеличения надежности и живучести отремонтированной техники.

Ключевые слова: техника железнодорожных войск, детали, поверхностное пластическое деформирование, поверхностный слой, эффективность, надежность, долговечность.

IMPROVEMENT OF QUALITY OF REPAIR OF DETAILS OF THE EQUIPMENT OF RAILWAY TROOPS WITH USE OF ULTRASONIC TECHNOLOGIES

V.E. Zarezin, P.V. Druzhinin, A.A. Korichev

*Military academy of logistics named of general A. V. Hrulev, 199034, St. Petersburg, Makarov Emb., 8;
Saint-Petersburg State University of Economics (SPbGEU), 191023, St. Petersburg, street Sadovaya, 21*

Article is devoted to use of ultrasonic technologies for improvement of quality of repair of details of the equipment of Railway troops, for the purpose of increase in reliability and survivability of the repaired equipment.

Keywords: equipment of railway troops, details, superficial plastic deformation, welded connections, efficiency, reliability, durability.

Опыт повседневной деятельности Железнодорожных войск (ЖДВ), учений, связанных с выполнением антитеррористических мероприятий, показывает, что работа техники ЖДВ связана с тяжелыми условиями эксплуатации, такими как повышенная запыленность, влажность, очень низкие или высокие температуры окружающей среды и т.д., что приводит к выходу из строя различных деталей, узлов и агрегатов техники. Выход из строя сопряжен во многих случаях с нарушением целостности деталей или повреждением их поверхностей.

Для восстановления деталей техники применяются инструменты и оборудование, имеющиеся в наличии в ремонтных органах. Детали восстанавливаются сваркой, а также применяется механическая обработка. Эти воздействия нарушают структуру и свойства материала деталей, что приводит к снижению прочности и ухудшению свойств поверхности. Для

восстановления структуры и свойств деталей в ремонтных органах в настоящее время имеется недостаточное количество необходимого оборудования и технологий, что привело к необходимости в поиске современных технологий и разработке научных и практических основ их применения для ремонта деталей техники ЖДВ.

Ультразвуковой финишной обработке, технологиям поверхностно-пластического деформирования с ультразвуком посвящены работы Коломеец Н.П., Бочкарева А.Г., Осипенковой Г.А., Клочкова Д.П., Адгидзи Д., Зайцева К.В., Ким Ч.С., Ковальногова В.Н., Рощупкина В.М., Холопова Ю.В., Петушко И.В. Исследования этих авторов дали теоретическую основу для разработки методики повышения качества ремонта деталей техники железнодорожных войск с использованием ультразвуковых технологий. Описание ее приведено ниже.

¹Зарезин Владимир Евгеньевич – адъюнкт ВА МТО им. А.В. Хрулева, тел.: +79119483533, e-mail: vzarezin@yandex.ru

²Дружинин Петр Владимирович – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры Организации военных перевозок Военного института (инженерно-технического) ВА МТО им. А.В. Хрулева, тел.: +79219769586

³Коричев Андрей Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой СПбГЭУ, тел.: +79117019384, e-mail: akorichev@yandex.ru

За основу методики обоснования оптимальных параметров упрочнения поверхностного слоя деталей способом поверхностного пластического деформирования (ППД) ультразвуковым инструментом была взята существующая теория ультразвукового поверхностного пластического деформирования, сущность которой заключается в том, что деформирующий элемент (индентор) прижимается к поверхности обрабатываемого изделия. В результате пластической деформации поверхностного слоя увеличивается твердость, образуются сжимающие напряжения, снижается шероховатость. ППД ультразвуковым инструментом вследствие своих особенностей (высокой частоты, силы ударов) ведет к более существенному изменению микроструктуры поверхностного слоя.

Предметом созданной методики явилось установление количественных связей между режимами обработки и характеристиками поверхностного слоя деталей, обработанных ультразвуковым ППД, на основе изучения механики деформирования.

Научной новизной данной методики стала разработка основ расчета параметров ультразвукового ППД с точностью, приемлемой для практического его использования, а также обоснование оптимальных режимов поверхностного пластического деформирования для различных материалов деталей.

Была предложена теоретическая модель с ударным инструментом в виде шарика, при этом было определено пиковое значение импульсного напряжения, которое использовано для дальнейших расчетов параметров ультразвукового ППД. Для этого был проанализирован режим обработки, при котором ультразвуковой инструмент прижимается с постоянной силой F_N к обрабатываемой поверхности. Сила имеет вид периодически повторяющихся импульсов, в интервале между импульсами сила равна нулю, а пиковое значение силы существенно выше средней силы постоянного прижима (рис.1).

Таким образом, приближенное значение величины пиковых напряжений было определено как:

$$F_{max} = kF_N^p \xi_m^q, \quad (1)$$

где k – коэффициент, зависящий от упругих свойств обрабатываемого материала; p, q – показатели степени (для данных условий: модель Герца $p = \frac{2}{3}, q = \frac{1}{2}$); F_N – сила прижима индентора, Н; ξ_m – амплитуда колебательных смещений, мкм.

Отсюда следует, что эффект ультразвукового ППД будет определяться максимальным значением действующих при ударе импульсных напряжений, величина которых зависит от произведения амплитуды колебательных смещений на силу прижима и характера упруго-пластического взаимодействия деформирующего тела с обрабатываемой поверхностью. Формула (1) наглядно демонстрирует связь величины пиковых напряжений, возникающих в процессе ППД с величинами, характеризующими режимы обработки и свойства материала, которая используется в дальнейшем при проведении расчетов.

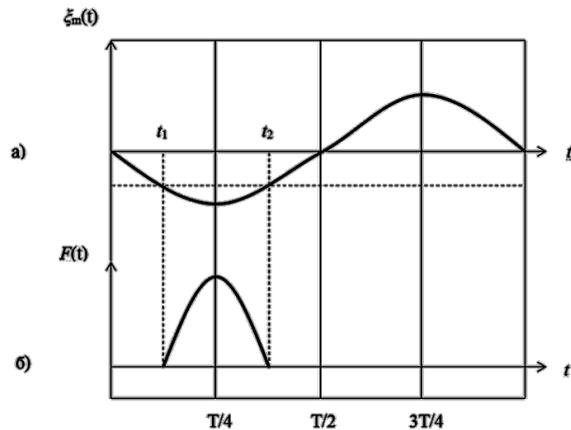


Рисунок 1 – Характер движения шарика (а) и зависимость сил (б), действующих в процессе его контакта с обрабатываемой поверхностью от времени

Далее определялась степень поверхностной деформации детали. Она оценивалась сравнением площади отпечатка шара в момент вдавливания S_1 с площадью поверхности отпечатка после снятия нагрузки S_0 . Отсюда степень деформации была определена как:

$$\psi = \frac{(S_1 - S_0)}{S_1}. \quad (2)$$

Затем была определена глубина пластически деформированного слоя, которая позволила оценить влияние параметров обработки на получаемую шероховатость поверхностного слоя детали R_z в зависимости от исходной шероховатости $R_{z\text{исх}}$ как:

$$R_z = R_{z\text{исх}} - \sqrt{\frac{kF_N^p \xi_m^q}{\sigma_T}}, \quad (3)$$

где σ_T – предел текучести материала, МПа.

Было обосновано применение ультразвукового поверхностного пластического деформирования для создания сжимающих напряжений. В динамических процессах теоретическое определение величин сжимающих напряжений затруднительно, поэтому экспери-

ментально исследовался характер распределения напряжений первого и второго рода по глубине при разных значениях параметров режима (амплитуда и усилие прижима). Напряжения определялись путем рентгенографирования при послойном электролитическом травлении образцов. Результаты экспериментов для стали 18Х14НТ приведены на рисунке 2 и в таблице 1.

Полученные данные показали, что ультразвуковая обработка создает или значительно увеличивает сжимающие напряжения, как в продольном, так и в поперечном направлениях. Это является благоприятным фактором, так как препятствует зарождению и развитию трещин.

Разработанная методика позволила создать и обосновать применение нового инструмента для ультразвукового поверхностного пластического деформирования деталей (патент №171295). В новом устройстве индентор представляет собой не шар, а вращающийся диск (рис. 3). Следовательно, на деталь воздействует не «точка», характеризуемая площадью S , а «отрезок» длиной d , равной по величине толщине диска.

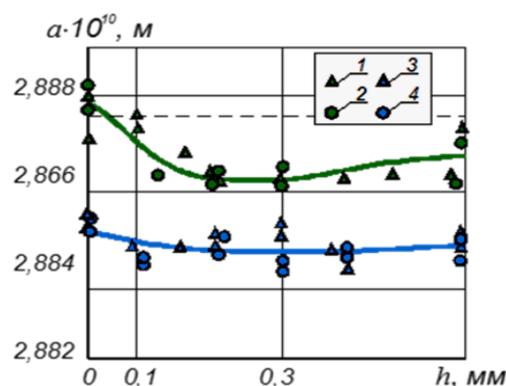


Рисунок 2 – Изменение параметра решетки a (1; 2) и уширения линии (3; 4) по глубине деформированного слоя

Таблица 1 – Остаточные напряжения в образцах

Номер образца	Напряжения, кгс/мм ²			
	До обработки		После обработки	
	σ_o	σ_n	σ_o	σ_n
3	-7,0	+13,2	-75,6	-34,0
4	-13,1	+14,7	-80,0	-38,2
15	-3,8	+18,6	-82,2	-31,6

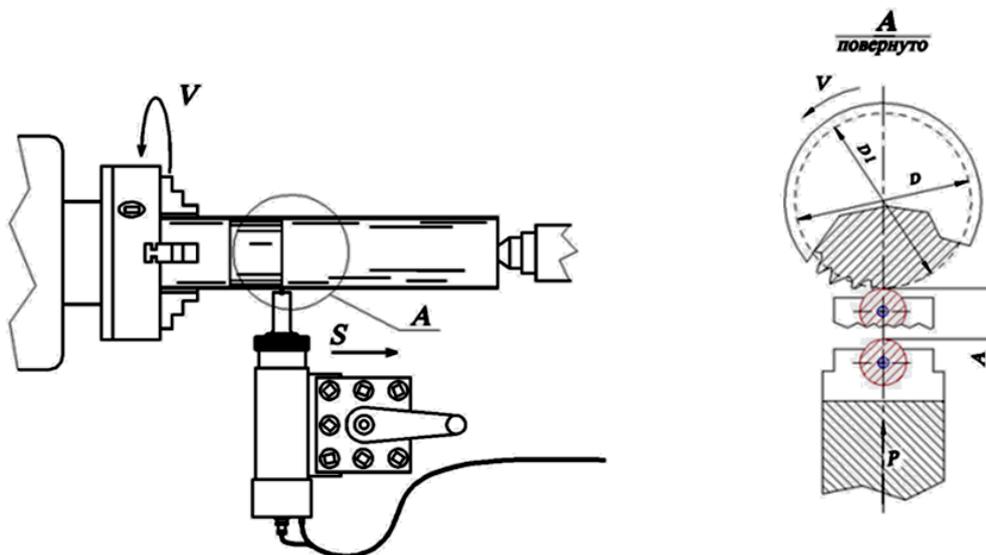


Рисунок 3 – Устройство для ультразвукового нанесения покрытий

Расчеты показали, что степень поверхностной деформации при использовании данной полезной модели увеличивается на величину кратную d :

$$\psi = d \frac{(S_1 - S_0)}{S_1} \quad (4)$$

В таблице 2 приведены сравнительные результаты, полученные при упрочнении стали 45 поверхностным пластическим деформированием ультразвуковым инструментом с инден-

торами сферической формы и имеющим форму диска.

Задаваемая толщина диска ограничивается сверху возможностью избыточного наклепа или изменения структурной фазы (разрушение поверхностного слоя), что для каждого материала решается по-своему.

Новый ультразвуковой инструмент позволяет повысить производительность ППД без увеличения мощности установки.

Таблица 2 – Основные характеристики стали 45, полученные в результате ультразвуковой упрочняющей обработки

Показатели качества поверхности	Вид упрочняющей обработки	
	Сферический инструмент	Инструмент в форме диска
Шероховатость R_a , мкм (исходная $R_a = 10 \dots 2,5$ мкм)	0,63...0,16	0,16...0,08
Степень упрочнения (наклепа), %	20...50	100...120
Величина сжимающих остаточных напряжений, МПа	350	1000
Относительная износостойкость, %	100	200

Для построения математических моделей, описывающих влияние основных параметров режима ультразвукового ППД, применительно к новому инструменту, автором использовались методы планирования эксперимента при оптимизации многофакторных процессов. Экспериментальные данные обрабатывали по стандартной методике на компьютере с помощью программы STATISTICA 10.

Были получены уравнения регрессий для шероховатости и поверхностной микротвердости:

$$R_z = 0,446 - 0,0347F_N - 0,014\xi_m + 0,0008F_N^2 + 0,0009F_N\xi_m - 0,00002\xi_m^2, \quad (5)$$

$$= 2238,9 + 45,9F_N - 49,3\xi_m - 0,7F_N^2 - 0,9F_N\xi_m + 6,3\xi_m^2. \quad (6)$$

Расчеты коэффициентов множественной корреляции и критерия Фишера показали, что полученные математические модели адекватны. Ошибки аппроксимации уравнениями регрессии экспериментальных данных не превосходят 9%.

Для подтверждения закономерностей формирования и свойств поверхностей деталей, сформированных технологией безбарзивной ультразвуковой финишной обработки (БУФО), как частным вариантом применения разработанной методики, были проведены натурные эксперименты.

В результате проведенных экспериментальных исследований БУФО установлено, что оптимумом амплитуды колебаний является 6 мкм. При дальнейшем росте амплитуды шероховатость возрастает. Причиной этого является

то, что с увеличением амплитуды растёт энергия удара, которая при некотором критическом значении вызывает перенапряжение (контактная усталость) в материале. В результате в тонком поверхностном слое возникают микротрещины и происходит «шелушение» материала.

Усилие прижима инструмента влияет на шероховатость поверхности, образующуюся при упрочнении, степень и глубину наклепа, величину напряжений, возникающих в поверхностном слое металла и на физико-механические свойства металла. Это влияние обусловлено самим характером образования поверхностного слоя при пластическом деформировании последнего инструментом на ультразвуковой частоте. Выбор величины усилия прижима определяет и производительность обработки. Таким образом, влияя практически на все технико-экономические показатели, усилие прижима является фактором режима, позволяющим наиболее гибко управлять процессом ультразвукового упрочнения деталей.

В связи с тем, что физико-технические свойства материала детали оказывают непосредственное воздействие на выходные показатели БУФО, были проведены экспериментальные исследования по определению влияния вида обрабатываемого материала на качество поверхностного слоя при БУФО. Методом БУФО по наружной поверхностям вращения на токарном станке были обработаны различные стали и сплавы. Результаты экспериментов представлены в таблице 3.

В результате исследований установлено, что для всех марок обработанных материалов происходит снижение шероховатости примерно в 4÷8 раз, наибольшее снижение параметров шероховатости получено у стали 14X17H (15 раз). Одновременно происходит повышение твердости поверхности в среднем на 35% (наибольшее у стали 40X13 – 69%).

Для оценки результатов определена сходимость теоретических исследований с экспериментальными исследованиями, которая является удовлетворительной, расхождение результатов не превышает 12%. Анализ результатов, свидетельствует о том, что разработанная математическая модель, используемая в методике обоснования оптимальных параметров упрочнения поверхностного слоя деталей способом ППД ультразвуковым инструментом, адекватна реальному процессу ультразвукового ППД.

Таблица 3 – Характеристика качества поверхности различных материалов при БУФО

Материал	Шероховатость, мкм		Диаметр образца, мм		Твердость, HRC	
	перед обработкой	после обработки	перед обработкой	после обработки	перед обработкой	после обработки
Сталь 3	4,4-5,8	0,32-1,2	28,155	28,139	116HB	16
Сталь 45	1,85-2,95	0,09-0,16	28,4	28,382	145HB	24
Сталь 40X	1,65-1,7	0,1-0,13	26,223	26,187	18	28
Сталь 40X13	0,95-1,0	0,1-0,11	19,417	19,414	10	32
Сплав ПТЗ-В	1,3-1,45	0,38-0,42	28,146	28,11	23	36
Сталь АК-25	1,65-2,2	0,1-0,14	46,435	46,428	20	32
Сталь 14X17H2	2,75-2,95	0,06-0,07	44,51	44,489	20	34
Чугун СЧД	4,8-5,3	0,78-0,9	38,93	38,91	-	-

Таким образом, результаты, полученные с использованием предложенной методики, имеют достаточную сходимость с экспериментальными данными для 5%-го уровня значимости.

Выводы

Разработанная методика обоснования оптимальных параметров упрочнения поверхностного слоя деталей способом поверхностного пластического деформирования ультразвуковым инструментом, позволяет установить количественные связи между режимами обработки и характеристиками поверхностного слоя обработанных ультразвуковым поверхностным пластическим деформированием деталей на основе изучения механики деформирования.

Литература

1. Коломеец Н.П. Улучшение свойств изделий из конструкционных сталей и сплавов методом силового воздействия / Автореф. дис... канд. тех. наук, - М.: МГТУ «СТАНКИН», 2003 г.
2. Холопов Ю.В. Машиностроение: ультразвук: УЗС, БУФО, ГЕО/ Санкт-Петербург, 2008. – 328 с.
3. Петушко И.В. Автоматизация технологических процессов ультразвуковой обработки жидких и твердых сред. Дисс... доктора технических наук. 2005 г.
4. Бочкарев А.Г. Повышение работоспособности подшипников путем ультразвукового упрочнения внутренних колец несвязанными шариками. Дисс... канд. тех. наук, - Самара.-2005 г.
5. Осипенкова Г.А. Отделочно-упрочняющая обработка с применением ультразвуковых крутильных

колебаний. Дисс... канд. тех. наук, - Нижний Тагил.-2009 г.

6. Клочкив Д.П. Повышение износостойкости поверхностей трения путем выбора рациональных режимов поверхностного пластического деформирования с наложением ультразвуковых колебаний. Дисс... канд. тех. наук, - Волгоград.-2012 г.

7. Адгидзи Д. Влияние ультразвука на эксплуатационные характеристики порошковых покрытий восстановленных деталей. Дисс... канд. тех. наук, - Минск.-1992 г.

8. Зайцев К.В. Совершенствование технологии процесса ультразвуковой обработки поверхностей стальных деталей перед нанесением газотермических покрытий. Дисс... канд. тех. наук, - Тюмень.-2011 г.

9. Ким Ч.С. Технологические и структурные закономерности ультразвуковой финишной и упрочняющей обработки конструкционных и инструментальных материалов. Дисс... канд. тех. наук, - Москва.-2005 г.

10. Зарезин В.Е., Дружинин П.В., Коломеец Н.П. Патент № 171295 Устройство для ультразвукового нанесения покрытий. – М.: ФИПС, 2017 г.

11. Дружинин П.В., Зарезин В.Е., Коломеец Н.П. Разработка и создание инновационного ультразвукового оборудования для повышения ресурса деталей военной техники в интересах обороноспособности страны / Журнал «Вопросы оборонной техники». Серия 16. Технические средства противодействия терроризму. – М.: НТЦ «Информтехника», 2016. – Выпуск 7-8 (97-98). – с. 33-38.

12. Зарезин В.Е. Возможности применения ультразвуковых технологий при эксплуатации и ремонте техники ЖДВ / Сборник научных статей научно-практической конференции «Система технического обслуживания в Железнодорожных войсках в современных условиях». – Петергоф.: ВИ (ЖДВ и ВОСО), 2014. – с. 125-133.



МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЕКТИРОВАНИЯ И ПРОИЗВОДСТВА ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

УДК 662

СПЕЦИФИКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОГО И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ В РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЯХ ПРОИЗВОДСТВА

Д.С. Агапов¹

*Санкт-Петербургский государственный аграрный университет (СПбГАУ),
196605, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское ш. д.2.*

Исходя из положения, что совершенство системы в целом определяется совершенством отдельных её элементов, сформулирован методологический подход к решению задачи повышения технического совершенства энергетических систем в целом на основе пинч-анализа и ее параметрической оптимизации

Ключевые слова: энергоснабжение, ресурсосберегающие технологии, Пинч-анализ, тепловой поток, теплообмен, термохимический конвертор, структурная оптимизация, когенерационная установка

THE SPECIFICITY OF FUNCTIONING OF THERMAL AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN VARIOUS INDUSTRIES

D.S. Agapov

*St. Petersburg State Agrarian University (SPbGAU),
196605, St. Petersburg, Pushkin, Petersburg Highway, 2*

Based on the position that the perfection of the system as a whole is determined by the perfection of its individual elements, formulated a methodological approach to solving the problem of increasing technical versenta energy systems as a whole on the basis of pinch analysis and its parametric optimization

Key words: energy saving technologies, pinch analysis for heat-current, heat transfer, thermochemical Converter, structural optimization, cogeneration plant.

Введение

Функционирование большинства современных предприятий по добыче различного сырья, производству и переработке различной продукции, эксплуатации и утилизации различного оборудования тесно связано с использованием и преобразованием всевозможных форм энергии. Кроме того, энергетика каждой отрасли имеет ряд особенностей, накладывающих дополнительные ограничения на область поиска оптимальных решений.

Энергетика различных отраслей производств характеризуется рядом особенностей, которые необходимо учитывать при их энерго-снабжении и оптимизации. Так, например, металлургия характеризуется высокими значениями температур технологического процесса,

химическая отрасль характеризуется стационарностью протекающих процессов синтеза различных веществ. К наиболее значимым особенностям энергетики сельского хозяйства можно отнести следующие:

- биологический характер объектов производств и конечной продукции;
- цикличность производственных процессов;
- интенсификация сельского хозяйства;
- непрерывность функционирования производств;
- климатические особенности;
- экологические ограничения функционирования.

¹Агапов Дмитрий Станиславович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры Автомобиля, тракторы и технический сервис СПбГАУ, e-mail: different76@list.ru

Характер объектов производств и конечной продукции

Продукция сельского хозяйства носит в основном биоэнергетический характер вследствие того, что суть основных предметов труда (животные, растения и почва) – биологическая.

Повышение продуктивности сельскохозяйственных животных и растений, как биологических объектов, достигается за счёт снижения их энергетических затрат энергии на поддержание собственной жизнедеятельности и преодоление внешних неблагоприятных факторов путём вложения дополнительных затрат энергии различного рода (теплота, освещение, живой труд).

По этой причине мероприятия по ресурсо- и энергосбережению не должны затрагивать агрономических, зоотехнических и технологических требований, во избежание нарушений искусственно созданных условий содержания животных и птицы, условий хранения и переработки продукции и др.

Цикличность производственных процессов

Эта особенность является следствием первой особенности, а именно – биологической сущью объектов труда. Биологические объекты имеют цикличную жизнедеятельность, например, суточную – характерную для животных или сезонную – характерную для растений.

Цикличность энергопотребления обуславливает малое время использования установленной мощности энергетического оборудования (двигателей и др.), что приводит к существенному удорожанию системы энергообеспечения.

Применяемый в промышленной энергетике способ выравнивания графиков нагрузки за счёт сдвигания пика энергопотребления предприятий на ночное время неприменим для сельскохозяйственных предприятий, так как некоторые операции (доение, поение, кормление) должны осуществляться в соответствии с режимом в строго отведённое время. Аналогично в растениеводстве урожай должен быть собран и переработан в сжатые сроки, нарушение которых приведёт к значительным потерям.

Интенсификация производства

Интенсификация производств и повышение производительности труда в целом является объективным требованием современной экономики. Энерго- и ресурсосбережение являются одними из главных направлений и критериев процесса интенсификации. Данное положение обусловлено тем обстоятельством, что

интенсификация требует увеличения расхода энергетических и сырьевых ресурсов. Так, например, повышение объема производства на 10% влечет за собой увеличение расхода энергии на 30 %. [20]. Поэтому при разработке мероприятий по энергосбережению и снижению энергоёмкости продукции необходимо учитывать продуктивность и воспроизводительные качества объектов труда (растений животных и птицы).

Возможно, решения кроются в области переходов на более продуктивные породы и кроссы, корректировке режимов кормления и содержания.

Непрерывность функционирования производств

Данная особенность продукции заключается в том, что отдельные технологические процессы не могут быть прерваны даже временно без ощутимого ущерба для производства (снижения продуктивности или качества продукции). Такие процессы в сельскохозяйственном производстве как доение, поение и кормление, не допускают смещений во времени или перерывов и их следует реализовывать в полном объеме и в положенное время.

Определённые процессы, связанные с энергопотреблением можно сместить по времени без существенного ущерба, но в относительно небольших пределах. Так, например, кондиционирование воздуха, возможно, осуществлять в сокращённом объеме, а удаление навоза или отгрузку навозной жижи допустимо прерывать на некоторое время.

Кроме того, для измерения энергетических характеристик оборудования, его параметрической оптимизации, проведения мероприятий энергоаудита иногда требуется прерывание производственного цикла. Даже временный переход на ручной труд при остановке отдельных подсистем производства не всегда возможен вследствие высокого уровня механизации и автоматизации предприятий, значительного объема производства и большой концентрации животных.

Климатические особенности

Ресурсосберегающие технологии позволяют существенно снизить производственные издержки и за счёт этого повысить конкурентоспособность предприятия и продукции на рынке. Однако в сельском хозяйстве производственные издержки зачастую определяются природно-климатическими факторами, материальными, биологическими и др.

В России сельскохозяйственное производство находится в более жестких условиях, нежели за рубежом. Так биоклиматический потенциал в России в 2,5 раза ниже, чем в США [1]. Другими словами, отечественные производители сельскохозяйственной продукции вынуждены значительную часть материальных, трудовых, энергетических, земельных и других ресурсов затрачивать на нейтрализацию природно-климатических условий.

Так только на отопление в России расходуется примерно 30% всех потребляемых теплоэнергетических ресурсов [2]. Поэтому абсолютные значения энергопотребления не вполне характеризуют использование энергии. Таким образом нормы расхода энергетических ресурсов в сельском хозяйстве должны соотноситься с природно-климатическими условиями того региона в котором оно функционирует.

Экологические ограничения функционирования

Крупные сельскохозяйственные производства животноводческие и растениеводческие комплексы оказывают негативное влияние на окружающую среду (земельные угодья, водоемы, воздух), что в свою очередь снижает продуктивность животных и увеличивает заболеваемость местного населения. Таким образом, мероприятия по ресурсо- и энергосбережению для повышения энергоэффективности должны учитывать ущерб окружающей среде, ликвидация которого требует дополнительные капитальные затраты.

Эффективность функционирования энергопреобразующих систем (ДЭС, ТЭЦ, АЭС и др.) определяется коэффициентом полезного действия (КПД), представляющим отношение полученной (преобразованной) формы энергии к исходной. Такой подход не вызывает затруднений, так как в обоих случаях (и в числителе, и в знаменателе) стоит энергия [3].

Несколько сложнее обстоит дело, когда энергопреобразующая система на входе или выходе имеет не одну, а две и более формы энергии, (например, когенерационные и тригенерационные установки). При этом сложность применения понятия КПД заключается в том, что все формы энергии в данном случае принимаются равноценными между собой, и изменение составляющих теплового баланса может никак не отразиться на значении КПД. То есть, если какая-то из форм энергии более предпочтительна, чем другие, то КПД не в полной мере отражает эффективность функционирования установки [4].

И совсем иначе выглядит ситуация, когда система не является в чистом виде энергопреобразующей, то есть когда её продукцией является не какая-либо форма энергии, а определённый материальный продукт. Тогда не только возникает вопрос о том, что ставить в числитель, но и в каких единицах измерять КПД, так как его размерность может представлять шт./Дж, кг/Дж и др. [5].

Но даже в этих трёх случаях КПД ещё имеет какой-то смысл. К настоящему моменту известны системы, к которым понятие КПД просто не применимо, то есть оно претерпевает качественное преобразование и попросту теряет всякий смысл [48, 49, 50, 51, 52]. КПД, определённый для таких систем может достигать значений много больше единицы. К таким системам можно отнести тепловые насосы и другие сверхединичные энергопреобразующие устройства. Например, у теплового насоса на элементах Пельтье КПД $\approx 3\div 4$, а для компрессорных тепловых насосов КПД $\approx 4\div 6$. Поэтому для таких систем служит другой оценочный показатель, называемый коэффициентом преобразования энергии (КПЭ). Для оценки эффективности тепловых насосов применяется, как бы перевёрнутый КПД. То есть КПЭ есть величина обратная вычисленному КПД [2].

Однако даже в этом случае КПЭ позволяет оценивать эффективность только энергопреобразующих систем. В случае функционирования какого-либо производства с несколькими конечными и/или побочными продуктами эффективность функционирования не может быть определена с помощью такого примитивного показателя как КПД или КПЭ. И дело не только в том, что возникают неопределённости с размерностью этих величин или их физическим смыслом, но и в том, что эффективность многих производств определяется чисто экономическими показателями и рыночной стоимостью как сырья, так и готовой или промежуточной продукции [4].

Кроме того, в понятие эффективности функционирования «направляются» и такие факторы как затраты на обслуживание, эксплуатацию, лицензирование и сертификацию, а также утилизацию производства. При всём при этом никто не отменяет того положения, что энергетические потери ведут к снижению эффективности функционирования производства в целом.

Изложенное выше позволяет сделать заключение о необходимости создания единого инструмента для оценки эффективности функционирования производств любой сложности и направленности, для возможности осуществле-

ния на его основе структурной и параметрической оптимизации производства в целом, с учётом не только объективных (измеряемых) факторов, но и субъективных.

Исходя из того положения, что совершенство системы в целом определяется совершенством отдельных её элементов, был сформулирован [4] первый этап методологического подхода к решению задачи повышения технического совершенства систем в целом.

Как отмечалось выше на начальных этапах развития технической мысли с открытием первого начала термодинамики, а точнее закона сохранения энергии, для оценки эффективности технических устройств применялся КПД, с помощью которого можно было оценивать не только полезное действие, но и бесполезное. Это, так называемое бесполезное действие, характеризующее потери энергии в окружающую среду, объяснялось несовершенством техники и технологии того времени. Такой подход к оценке эффективности машин назывался балансовым или энтальпийным.

На его основе были сделаны существенные достижения в области теории двигателей и их теплового баланса такими учёными как: Н. Р. Брилинг, Е. К. Мазинг, В.И. Гриневецкий, Р.З. Кафтарадзе, А.К. Костин, А.В. Николаенко, Р.М. Петриченко, М.Р. Петриченко, В.С. Семёнов, Б.А. Шароглазов, В.В. Эфрос, В.В. Кукис и многие другие. Также известен ряд институтов, имеющих научные школы ВлГУ, МГТУ, МЭИ, СПбГАУ, ЧГАУ, СПбГПУ, ЮУрГУ; научно-исследовательских институтов (НАТИ, ЦНИДИ, ЦНИТА, и др.), которые тоже внесли существенный научный вклад в развитие теории создания и эксплуатации тепловых двигателей.

Однако исследования в данной области были направлены, в основном, на организацию процессов рабочего цикла, как правило, в отрыве от систем, внутри которых данные двигатели функционируют.

Современные энергетические установки, непрерывно совершенствуясь, представляют собой некоторую совокупность сложных взаимодействующих систем. Сам по себе тепловой двигатель уже представляет собой подобную совокупность систем. Однако, в силу того, что в большинстве случаев потребитель механической работы этого двигателя находится в непосредственной близости с ним, то становится очевидным, что общий анализ эффективности целесообразно вести не только в пределах самого двигателя, но и всей энергетической установки, в которую входит сам двига-

тель и непосредственный потребитель механической энергии.

Так как непосредственным потребителем механической энергии, вырабатываемой двигателем, выступают объекты различных назначений, конструкций и сложности, (например, насос, электрогенератор, трактор, комбайн, автомобиль и др. устройства), то необходим комплексный подход к оптимизации протекающих в установке процессов.

Для анализа протекающих процессов, определения путей совершенствования установки в целом, а также разработки конкретных технических решений по совершенствованию требуется соответствующий научный инструмент.

Исторически сложились два принципиально различных подхода к исследованию и анализу процессов, протекающих в энергетических установках, это метод прямых и обратных циклов и метод термодинамических потенциалов.

Основу метода, построенного на рассмотрении прямых и обратных циклов заложили Карно и Клаузиус. Данный метод нашёл широкое применение в технике. Сопоставляя циклы реальных установок с теоретическими циклами можно определить потери энергии вследствие несовершенства протекающих процессов, определить КПД установки, её эффективность.

Основу метода термодинамических потенциалов заложил Гиббс. Данный метод необходим при анализе систем, где преобразование энергии протекает вообще без участия рабочего тела, (например, фотоэлементы). Метод считается более перспективным, универсальным, логическим и менее громоздким в расчётах. Однако даже этот метод даёт оценку энергетической ценности потоков вещества и энергии безотносительно к внешним условиям, в которых данный поток существует.

Широкое применение тепловых двигателей не ограничивается воздушным, водным и наземным транспортом. Непременное условие отвода теплоты при производстве механической работы указало ещё ряд наиболее рациональных областей их применения. Это различные энергоустановки (когенерационные и тригенерационные), а также различные технологические линии (по переработке сельскохозяйственной продукции, производства нефтепродуктов и химических продуктов и др.), в которых для осуществления технологического процесса на разных этапах производства возникает необходимость подвода и отвода различных видов энергии, и в частности теплоты.

Также в отдельных устройствах этих линий постоянно происходят процессы превращения работы в теплоту и реже – теплоты в работу. Данные превращения не всегда являются целью функционирования этих установок, а происходят параллельно с технологическим процессом, реализуемым установкой. В связи с этим зачастую возникают различного рода потери энергии вследствие диссипации и деградации.

В отдельных случаях [6] предпринимаются попытки частичного использования теряемой энергии либо для отдельных этапов технологического процесса (регенерация), либо для дальнейшего преобразования в необходимые формы (утилизация).

Однако, в первом случае (регенерация) сложность повторного использования энергии заключается в том, что она отводится множеством потоков и на разных температурных уровнях.

Во втором случае (утилизация) возникает другая проблема, связанная с тем, что, либо мал поток утилизируемой теплоты, либо (что чаще) большое количество теплоты имеет низкий термодинамический потенциал (температуру).

Общей сложностью для регенерации и утилизации является то, что при изменении режима работы установки меняются и составляющие её теплового баланса, а значит и потребности в количестве теплоты для регенерации и возможности утилизации.

Например, тригенерационная установка, вырабатывающая одновременно электроэнергию, теплоту и холод для гипермаркета. Любое изменение погоды или количества товара на складе (продуктов заморозки) и даже времени суток приведёт к изменению потребностей в теплоте, холоде и электроэнергии.

Несколько сложнее обстоит дело с анализом, если технологический процесс не непрерывный, а циклический. Различные технологические линии имеют множество нестационарных циклических процессов. В этом случае для достижения энергосбережения и снижения затрат ни в коем случае нельзя прибегать к использованию усреднённых данных, а необходимо детальное измерение необходимых характеристик (в т. ч. временных) всех циклических потоков в составе технологического процесса. При решении данной задачи часто приходится руководствоваться не только нахождением оптимального варианта перераспределения потоков теплоты, но и множеством других факторов: конструктивных, экономических. Но даже в случае, когда установлен наилучший вариант

маршрутизации тепловых потоков, возникает вопрос о термодинамическом совершенстве протекающих в оборудовании процессов, неравновесность которых может существенно снизить результат, достигнутый путём организации регенерационных потоков.

Дальнейшее совершенствование методов привело к созданию нового эксергетического метода анализа, который в настоящее время является наиболее объективным и дающим более полную инженерную и экономическую оценку [7]. С развитием второго начала термодинамики появился принципиально новый взгляд на эффективность функционирования машин, который не отменял, а дополнял положения первого начала термодинамики. Эта новая научная парадигма, во многом порождённая кризисом физики и неспособностью объяснять значения КПД тепловых насосов, превышающих 100%, позволила иначе взглянуть и на энергетические потери. В частности, появилась возможность различать потери, связанные с утечками энергии (в силу теплопроводности материалов или неплотности ёмкостей и т.п.), и потери, связанные с неравновесностью протекающих процессов (градиенты температур, давлений и т.п.), а также необратимостью (смешивание, измельчение, сгорание и др.). То есть появились такие составляющие энергетического баланса, которые при энтальпийном подходе просто не существовали. Другими словами, на основе эксергетического анализа появилась возможность снижения потерь от диссипации и деградации энергии. Выделяется также функция, характеризующая потери от неравновесности, называемая энтропия. Как производная сформировалось понятие производства энтропии. Такой метод получил название энтропийный [8].

С развитием энтропийного подхода на основе трудов Ранга, Гюи-Стодолы и других исследователей появляется понятие эксергии, тесно связанного с производством энтропии. Начиная с 50-х годов прошлого столетия в термодинамике начал выделяться в самостоятельное направление специальный раздел, связанный с понятием эксергии, для решения задач, связанных с энергетическими превращениями в самых различных технических устройствах. В сочетании с элементами системного подхода и экономики он образовал инженерный метод, получивший название эксергетического [9].

В настоящее время он широко применяется для анализа энергетических превращений в промышленности, сельском хозяйстве, на транспорте и в быту для проведения энергосберегающей политики.

Эксергетический подход позволил связать термодинамические характеристики технических объектов с их технико-экономическими и экологическими характеристиками и позволяет успешно решать задачи технико-экономической оптимизации, распределения затрат в комплексных производствах, нахождения обобщенных характеристик больших классов технических объектов и др..

Центральным понятием метода является эксергия, характеризующая любой вид энергии не только количественно, но и качественно. При этом качество оценивается через количественные величины. Таким образом, эксергия представляет собой некоторую универсальную меру всех энергий. На необходимость и возможность нахождения такой меры указывал еще в 1928 г. академик В.И. Вернадский. Само понятие "эксергия" было введено в 1956 г. З. Рантом по предложению Р. Планка, от греческого слова «ergon» - работа, сила и приставки «ex», означающей "из", "вне".

В качестве характеристики термодинамического совершенства любой технической системы вводится понятие эксергетического КПД. Также введено понятие транзитной эксергии и ряд других понятий, связанных с экономическими показателями.

Принципиально эксергетический и энтропийный методы весьма схожи и отличаются лишь тем, что энтропийный метод работает с полной энергией системы, в то время как эксергетический метод рассматривает лишь ту часть энергии, которая отсчитывается не от абсолютного нуля, а от параметров окружающей среды и способна к дальнейшим преобразованиям. Эксергетический метод оказался проще энтропийного в плане практического применения, так как исключает из рассмотрения связанную энергию, не способную к дальнейшему преобразованию в условиях окружающей среды. Развитие этого подхода получило развитие в трудах ряда других отечественных и зарубежных учёных. З. Рантом даже наряду с понятием эксергии было введено понятие анергии, как части энергии тела, не способной к дальнейшим преобразованиям при данных условиях окружающей среды. То есть энергия тела складывается из эксергии и анергии. Это, безусловно, является удобным обобщением, но только при анализе машин, работающих при температурах выше окружающей среды. Некоторые затруднения при определении анергии возникает в случае анализа криогенных и холодильных установок. Однако эти и другие затруднения вполне преодолимы.

Кроме описанного выше, эксергетический подход указывает на неравноценность различных форм энергии, а также устанавливает соотношение между ними, используя в качестве единицы измерения эксергию. Он позволяет оценивать энергию не только количественно, но и качественно.

При создании и совершенствовании различных технических систем эксергетический метод является хорошим перспективным инструментом. В силу ряда причин данный метод не имеет такого широкого распространения, как метод потенциалов или метод циклов. Причиной этого является то, что метод достаточно новый и окончательно не сформирован, особенно для решения некоторых прикладных задач. Эксергетический метод наиболее часто применяется при анализе процессов, протекающих на конденсационных электростанциях, в различных теплообменных аппаратах, ТЭЦ и др. подобных объектах. Также встречается ряд попыток применить данный метод непосредственно к системам ДВС безотносительно потребителей его энергии.

Исходя из этого, научный и практический интерес представляет эксергетический анализ энергоустановок, как совокупности взаимодействующих систем.

В рамках диссертационной работы [4] эксергетический метод на первом этапе используется для термодинамического совершенствования отдельных элементов системы. Причём данный метод не претерпевает никаких изменений и используется в чистом виде. Кроме того, он служит для определения эксергии входных и выходных потоков массы и энергии для каждого элемента системы, что использовано в дальнейшем для третьего этапа совершенствования системы.

На втором этапе совершенствования системы здесь [4] производится её структурная оптимизация. На первый взгляд может показаться, что структура системы задаётся строго технологической необходимостью последовательности выполнения производственных операций. Однако в процессе функционирования практически любой производственно-технологической линии зачастую выполняются такие операции, которые напрямую связаны с подводом и отводом теплоты. Это нагрев, плавление, выдержка при определённой температуре, варка, пастеризация, охлаждение, заморозка, кристаллизация и многие другие операции. Причём в большинстве случаев в качестве охладителя выступает окружающая среда или холодильная установка, а в качестве нагревате-

ля топливо, острый пар или электроэнергия. В любом случае все вышеописанные источники энергии требуют финансовых затрат. В связи с этим возникает рациональное решение взять теплоту там, где она выделяется, и подвести туда, где она должна быть подведена. То есть организовать регенерацию тепловых потоков для вторичного использования теплоты в одном производственном цикле. А это уже приводит к изменению структуры системы в связи с введением в её состав дополнительных устройств для теплообмена, термотрансформации, передачи теплоты и др. Данная задача на первый взгляд может показаться несложной, однако, это не всегда так. Ситуация осложняется не только огромным количеством вариантов возможных теплообменных связей, но и тем обстоятельством, что теплота самопроизвольно передаётся только от тела, более нагретого к менее нагретому. При этом привнесение дополнительных конструкций в систему не только усложняет последнюю, но и делает её дороже. Поэтому поиск решений утилизации теплоты внутри системы необходимо вести также с учётом повышения её стоимости, что особенно затруднительно на этапе проектирования системы. Также необходимо учитывать и конструктивные факторы возможности организации связи конкретных тепловых потоков.

Однако такой инструмент в настоящее время существует и вполне удовлетворяет перечисленным требованиям. В силу типичности особенностей графического представления различных рассматриваемых систем в этом методе он получил название «пинч-технология». Пинч-анализ как метод интеграции тепловых процессов появился в 70-х годах двадцатого века, во время нефтяного кризиса индустриально развитых стран [10]. Приложение данного метода к технологии проектирования сложных теплообменных систем разрабатывалось коллективом кафедры интеграции процессов Манчестерского института науки и технологии. Прежде всего, во главе с профессором Бодо Линнхоффом и Робертом Смитом.

Над дальнейшим развитием метода работало большое количество отечественных и зарубежных ученых, которые внесли существенный вклад в развитие теории и методов решения проблемы интеграции тепловых процессов. К ним относятся В. Linnhoff, R. Smith, J. Klemes, Л.Л. Товажнянский, П.А. Капустенко, Л.М. Ульев и другие.

Достоинством метода является его отнесенность к простоте, наглядности, широкая область применения и высокая эффективность

предлагаемых технических решений по оптимизации процессов функционирования сложных объектов. Пинч-анализ может применяться при проектировании новых объектов, а также предприятий или производственных единиц, при модернизации производственных мощностей, где используются технологические потоки, имеющие различные температуры. На основе данного подхода можно осуществлять оптимизацию и интеграцию тепловых процессов для рационального использования различных энергоресурсов. Пинч-анализ применим к периодическим, непрерывным и полунепрерывным процессам и способен учитывать различные характеристики этих процессов, например, использование различных видов сырья и энергоресурсов, нестационарность расходов, а также ограничения, связанные с качеством работы объекта, и ограничения природоохранного характера.

Недостатком пинч-анализа является дороговизна и сложность в применении методологии. Расчеты несложных процессов могут выполняться вручную или при помощи программных инструментов. В сложных процессах может потребоваться консультация опытных специалистов.

Применение пинч-анализа к деятельности различных предприятий в большинстве случаев улучшало характеристики производственного процесса (повышало гибкость производства, «расширяло» узкие места в технологических процессах, увеличивало производительность и снижало негативные эффекты, например, эффект образования накипи).

Предпринятые автором попытки применения инструмента пинч-анализа [11] для установок различного назначения (по регенерации моторных масел, по приготовлению кормов для сельскохозяйственных животных) позволил снизить энергопотребление в среднем на 15–20%.

Организовать определённые с помощью пинч-анализа потоки теплоты на реальном объекте возможно с помощью различных теплообменных устройств, таких как тепловые трубы, термодиоды и различные теплообменники (рекуперативные и регенеративные).

Используя простые и понятные принципы и правила пинч-технологии, которые учитывают контроль и управление объектом, его компоновку и различные коммуникации с другими объектами, а также, безопасность, контроль загрязнений окружающей среды и т.д. можно получить интегрированное проектное решение. Данное решение, как правило, являет-

ся не только энергетически оптимальным, но и технически приемлемым и выполнимым. Пинч-технология – мощный интерактивный инструмент. В России данный метод не нашёл широкого распространения. Это обусловлено тем, что Россия не переживала такого глубокого нефтяного кризиса, как западные страны, а часть функций данного метода взял на себя другой инструмент, так называемый «эксергетический анализ».

Следует добавить, что принципы пинч-технологии вполне реализуемы и в автоматическом режиме с помощью ЭВМ, однако поиск решений с помощью алгоритмов линейного и нелинейного программирования затруднителен в случае решения задач большой размерности. Кроме того программные продукты, позволяющие вести синтез систем весьма дороги и требуют существенных вычислительных ресурсов. В то же время автоматический режим практически исключает проектировщика из процесса поиска решения, что затрудняет использование пожеланий, основанных на опыте проектирования и эксплуатации существующих систем. Именно поэтому синтез сложных технологических систем необходимо вести в полуавтоматическом режиме [4].

Существенное упрощение процесса решения дают эвристические алгоритмы, реализация которых зачастую целиком реализуется самим проектировщиком. Они позволяют учитывать различные экспертные рекомендации в процессе синтеза системы. Однако, применение эвристических алгоритмов не только замедляет процесс проектирования, но и не гарантирует оптимальности найденного решения. Кроме того характерной особенностью эвристических алгоритмов поиска является то обстоятельство, что у разных проектировщиков будут возникать отличные друг от друга варианты решений.

По этой причине возникла необходимость машинной (компьютерной) реализации полуавтоматического процесса синтеза системы с возможностью учёта экспертных рекомендаций и позволяющей использовать принципы эвристического поиска [4].

Третьим и заключительным этапом термодинамического совершенствования является параметрическая оптимизация системы. Общеизвестно, что режим работы любого технического объекта существенно влияет на его технико-экономические, топливно-энергетические, экологические и другие показатели [97, 98]. Для любого устройства существуют оптимальные режимы эксплуатации. То

есть оптимальная структура является лишь необходимым условием достижения технического совершенства системы. Именно поэтому необходима заключительная параметрическая оптимизация системы.

Необходимо отметить, что совершенная с термодинамической точки зрения система, в техническом и экономическом смысле может быть далеко не лучшим решением. Примером может служить цикл Карно. Также, например, для работы теплообменного аппарата существует определённое оптимальное значение температурного напора. Если подходить к оптимизации его параметров с чисто энергетической точки зрения, то для снижения необратимости процесса теплообмена необходимо снижать разность температур сред, между которыми происходит теплообмен. Это неуклонно ведёт к увеличению поверхности теплообмена, увеличивает габариты теплообменника в целом, что является экономически нецелесообразным. Именно нестрогое совпадение энергетического и экономического оптимума обуславливает необходимость ввести в целевую функцию оптимизации кроме энергетического критерия, ещё и экономический критерий. Они, как правило, являются взаимобратными функциями. То есть необходима термoeкономическая оценка объекта, которая способна учитывать капитальные затраты (на производство, обслуживание, эксплуатацию и утилизацию установки), и прибыль от её работы.

Термoeкономические методы также разработаны и широко применяются в зарубежной практике, например, [12]. Кроме того, термoeкономический подход является объединением эксергетического и чисто экономического подходов в один метод. Существенный вклад в развитие этого метода внесли такие учёные как G. Tsatsaronis, B. Olsommer, M.R. Von Spakovsky, Y. M. El-Sayed, Б.С. Сажин, А.П. Булеков и другие.

Одним из главных достоинств данного метода является возможность не только определить конкретную себестоимость каждого конечного продукта в случае сложного производства, но и указать стоимость полуфабрикатов и промежуточных продуктов на любом этапе производственного цикла. Принцип метода заключается в уравнении стоимостного баланса единицы эксергии как для каждого отдельного элемента системы, так и для любой её группы элементов, а также для всей системы в целом.

Методы термoeкономического анализа, применяемые на уровне системы, используют как принципы термодинамики, так и данные о

затратах. Эти методы позволяют прояснить процесс формирования затрат, минимизировать совокупные производственные затраты, а также распределить затраты по нескольким видам продукции, производимым в одном и том же процессе.

В ходе производственного процесса энергия не потребляется в строгом смысле, а переходит из более качественных форм в менее качественные формы. Для анализа процессов, характеризующихся значительной степенью термодинамической необратимости, например, сжигания, теплопередачи, дросселирования и т.д., адекватным является только эксергетический анализ [4]. Эксергия представляет собой объективную и универсальную меру полезности энергии и может рассматриваться в качестве связующего звена между термодинамикой и учетом затрат. Это связано с тем, что эксергия может быть определена на основе физических величин, которые могут быть измерены – давления, температуры, энергии и т.д. Экономический анализ позволяет рассчитать затраты, связанные с приобретением топлива, инвестициями, а также эксплуатацией и техническим обслуживанием установки [4].

Таким образом, термозэкономика позволяет оценить затраты, связанные с потреблением ресурсов и термодинамической необратимостью в рамках производственного процесса в целом. Термозэкономический анализ позволяет выявить пути более эффективного использования и сбережения ресурсов. Денежные затраты являются, в частности, выражением неэффективности технологических процессов, и информация о формировании затрат может использоваться для оптимизации этих процессов. Анализ затрат, связанных с технологическими потоками и процессами предприятия, способствует пониманию процесса формирования затрат на пути от входных потоков до конечной продукции.

Данные методы анализа позволяют решить проблемы, связанные со сложными энергетическими системами, которые не могут быть решены методами традиционного энергетического анализа. Методы термозэкономии могут использоваться для:

- рационального ценообразования на продукцию предприятия на основе физических параметров;
- оптимизации конкретных параметров производственных процессов с целью снижения совокупных производственных затрат, т.е. глобальной и локальной оптимизации;

- выявления неэффективных участков процесса и расчета их влияния на экономику производства действующих предприятий (термозэкономической диагностики производственного процесса);

- оценки различных альтернатив и вариантов решений при проектировании производства, обеспечения максимальной рентабельности;

- энергоаудита.

Объекты применения термозэкономических методов – различные электростанции (в т.ч. парогазовые комбинированного цикла), нефтеперерабатывающие и химические предприятия, сахарные заводы, электростанции-опреснители, ТЭЦ и т.д..

В целом данный метод весьма эффективен, однако его объективность ставится автором этой работы под сомнение в силу того обстоятельства, что стоимости единиц эксергии каждого вида энергии принимаются равными между собой. Это, по мнению автора данной работы, подрывает положение, устанавливаемое вторым началом термодинамики о компенсации преобразования различных форм энергии. В качестве подтверждения высказанного сомнения можно привести пример, когда изменение энергетических запросов внешнего потребителя в какой-либо форме энергии приводит к неэффективности дальнейшего функционирования производителя энергии в рамках прежних отпускных цен. Данное противоречие устраняется путём расчёта стоимостей единицы эксергии всех форм энергии, на основе предложенных в пятой главе дополнительных уравнений. Суть этих дополнительных уравнений сводится к приведению стоимостей единицы эксергии различных форм к стоимости единицы эксергии одной, наиболее ценной формы, например, электрической.

Именно эти три этапа легли в основу создания единой методики термодинамической оптимизации технических систем, изложенной в работе [4]. В качестве подхода к созданию совершенных и совершенствованию существующих машин эксергетический метод и пинч-технология долгое время, рядом отечественных и зарубежных учёных воспринимаются антагонистически. Особенно это характерно для специалистов в области эксергетического анализа, считающих, что все основные выводы пинч-анализа можно получить из эксергетических функций.

Отметим, что эксергетический метод действительно является более широким и проработанным инструментом в плане примене-

ния, однако это не снижает ценности пинч-анализа, так как в отдельных случаях, особенно при большом количестве теплоисточников, не решает вопроса о наилучшем конструктивном решении интеграции тепловых процессов. Действительно пинч-технология имеет существенную проработку в приложении лишь к тепловым процессам и не касается совершенства отдельных элементов системы. Кроме того, при малом числе теплоисточников оптимальное решение по интеграции тепловых процессов является очевидным и не требует применения сложных инструментов для анализа. Например, применение пинч-технологии весьма затруднительно для рассмотрения обычного теплового двигателя, где количество тепловых потоков мало, абсолютное их значение невелико, а капитальные затраты на реконструкцию сопоставимы с экономией от реконструкции. В этом случае возможности эксергетического подхода имеют более широкие применения, так как указывают ещё пути снижения потерь работоспособности за счёт неравновесности процессов [4].

Однако если речь идёт о сложной энерготехнологической системе, то в плане структурной оптимизации позиции эксергетического метода на сегодняшний день весьма слабы. С позиций эксергетического подхода действительно возможно сравнивать различные варианты структурного решения, однако, без чёткого указания на пути улучшения структуры системы [13]. Кроме того, пинч-технология способна оперировать вместо потоков теплоты также потоками эксергии. Это хотя и создаёт дополнительные сложности, но они вполне преодолимы. То есть пинч-метод способен интегрировать в себя эксергетический анализ [14].

Таким образом методика совершенствования технических систем должна быть основана не на базе какого-либо метода, а на базе решения частных задач теми методами, которые наилучшим образом для этого применимы. В работе [4] рассматриваются вопросы, решение которых недостаточно хорошо исследовано на основе обоих перечисленных методов, несмотря на то, что такие попытки имели место (например интеграция нестационарных потоков).

Литература

1. Гайдук В.И., Повышение конкурентоспособности производства продукции животноводства. / Гайдук В.И., Воронов С.С. // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2004. – №1. – С. 56–59.

2. Лепеш Г.В. системах жизнеобеспечения зданий и сооружений/ Г.В. Лепеш. –СПб.:Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 437 с.

3. Parlak, The Effect of Heat Transfer on Performance of the Diesel Cycle and Exergy of The Exhaust Gas Stream In a LHR Diesel Engine at the Optimum Injection Timing, Energy Conversion and Management. – 2005. – №46(2). 167–179.

4. Агапов Д. С. Структурная и параметрическая оптимизация систем промышленного теплотехнического и технологического оборудования./ диссертация на соискание учёной степени доктора технических наук.// 05.14.04 — «Промышленная теплоэнергетика». СПб. 2016. – 344 с

5. Lazzaretto, A., Tsatsaronis, G., On the calculation of efficiencies and costs in thermal systems, In: Proceedings of the ASME Advanced Energy Systems Division, AES. – 1999. – Vol.39.

6. Reddy BV, Ramkiran G, Kumar KA, Nag PK. Exergy analysis of a waste heat recovery steam generator. Int J Heat Mass Transf. – 2002. –№45. 1807–1814.

7. Lozano, M.A. and Valero. A Theory of the exergetic cost, Energy – The International Journal. – 1993. – №18. 939–960.

8. Bejan A. Entropy generation minimization. The new thermodynamics of finite-size devices and finite-time processes. Appl. Phys. – 1996. №79. 1191–1218.

9. Bejan A. Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture. Int J Energ Res. – 2002. – №26(7). 545–565.

10. Linhoff, B. and Alanis, F.J. Integration of a New Process Into an Existing Site: A Case Study in the Application of Pinch Technology, Journal of Engineering for Gas Turbines and Power, ASME Transactions. – 1991. – Vol. 113, pp. 159–169.

11. Kemp, I. C. Some Aspects of the Practical Application of Pinch Technology Methods. Transactions of the Institute of Chemical Engineers, Part A – 1991. – №69 nov, pp. 471–479.

12. Durmayaz A, Sogut OS, Sahin B, Yavuz H. Optimization of thermal systems based on finite-time thermodynamics and thermoeconomics. Progr Energ. Combust Sci – 2004. – №30. 175–217.

13. Bourhis, G., Leduc, P. Energy and exergy balances for modern diesel and gasoline engines. Oil & Gas Science and Technology. – 2010. Rev. IFP, – Vol. 65, – №. 1, pp. 39–46.

14. Смит Р., Клемеш Й., ТОВАЖНЯНСКИЙ Л.Л. Основы интеграции тепловых процессов. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2000. – 458 с.

15. Gaggioli, R.A., Sama, D.A., Qian, S. and El-Sayed, Y.M. Integration of a new process into an existing site: A case study in the application of exergy analysis. Journal of Engineering for Gas Turbines and Power. – 1991. – №113(2), 170–180.

ОЦЕНКА ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЗЛА КРЕПЛЕНИЯ БРОНИ МАГИСТРАЛЬНОГО КАБЕЛЯ ГИДРОАКУСТИЧЕСКОЙ СТАНЦИИ В УСЛОВИЯХ ОСЕВОГО НАТЯЖЕНИЯ

Г.В. Лепеш¹, К.А. Егоров², А.Н. Широких³

¹*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21*

²*Акционерное общество «Центральный научно-исследовательский институт
материалов», (АО «ЦНИИМ»), 191014, Санкт-Петербург, Ул. Парадная, 8*

³*Акционерное общество «Научно-производственный центр «Сонар», (АО «НПЦ«Сонар»),
196608, Санкт-Петербург, г Пушкин. Подбельского шоссе, 9, лит. А*

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния (НДС) деталей узла крепления брони магистрального кабеля гидроакустической станции с использованием CAD/CAE технологий, реализованных в программном комплексе ANSYS. Разработан подход, позволяющий значительно снизить системные ресурсы при расчетно-теоретическом анализе НДС. Путем вариации конструктивными параметрами деталей устройства выбраны наиболее рациональные параметры деталей и усилия закрепления, обеспечивающие его наибольшую несущую способность.

Ключевые слова: кабель, защитная броня, растягивающие усилия, напряженно-деформированное состояние, контактные напряжения, прочность.

ASSESSMENT OF THE OPERATION OF THE MOUNT ARMOR TRUNK CABLE OF HYDROACOUSTIC STATION IN CONDITIONS OF AXIAL TENSION

G. V. Lepesh, K. A. Egorov, A. N. Shirokih

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU), 191023, Saint-Petersburg, Sadovaya street, 21
Joint-stock company "Central scientific-research Institute materials" (JSC "CRIM"),
191014, Saint Petersburg, Paradnaya street;*

*Joint-stock company "Scientific-production center of "Sonar", (JSC "SPC"Sonar"),
196608 St. Petersburg, Pushkin. Podbelskogo highway, 9, lit. A*

The analysis of stress-strain state (VAT) of parts of the mount armor trunk cable of hydroacoustic station using CAD/CAE technologies implemented in the software package ANSYS. The developed approach allows to significantly reduce the system resources in the theoretical analysis of the VAT. By varying the design parameters of the machine selected the most rational parameters of the parts and the clamping force that provides the highest load-bearing capacity.

Keywords: cable, protective armor, tensile forces, stress-strain state, contact stresses, strength.

Введение

В области современной гидроакустики на надводных кораблях и подводных лодках, а также на научно-исследовательских судах и судах экологического контроля широко используются буксируемые гидроакустические станции, состоящие из дискретных приемопередатчиков, соединенных электрическим кабелем со средством буксирования (кораблем), либо с контрольным устройством, расположенным на берегу. Для

предотвращения от повреждения кабеля в условиях воздействия различных механических нагрузок применяются кабели, имеющие защиту – броню, представляющую из себя либо оплётку из стальных лент (рис. 1, а) – для кабелей, не подвергающихся растягивающим усилиям, либо проволочную оплётку (рис. 1 б) – для кабелей подводной или наклонной прокладки.

¹*Лепеш Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения» СПбГЭУ, тел.: +79217512829, e-mail: gregoryl@yandex.ru;*

²*Егоров Константин Александрович – ведущий инженер АО «ЦНИИМ», тел.: +7 921 9825455, e-mail: konstant55@rambler.ru;*

³*Широких Алексей Николаевич – начальник конструкторского отдела АО «НПЦ«Сонар», тел.: +7 9657739795, e-mail: lexxshir@yandex.ru.*

Подобную защиту имеют все кабели, предназначенные для прокладки в земляных траншеях, тоннелях, шахтах, под водой или на открытых участках производственных помещений, где велика вероятность силового воздействия на них, которое может нарушить их функционирование – передачу информации или электрического питания.

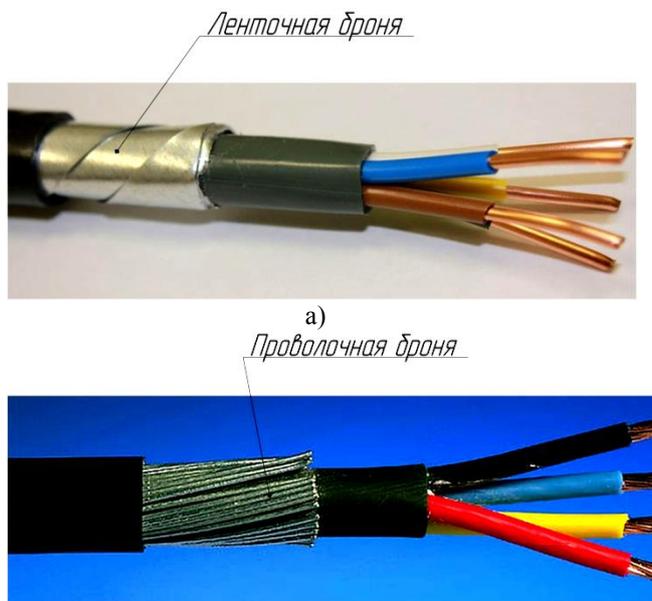


Рисунок 1 – Бронированные кабели: а) – с ленточной броней; б) – с проволочной броней

Наиболее вероятная нагрузка на кабели гидроакустических станций – растягивающая нагрузка, которая может возникнуть как при прокладке кабеля, так и при случайном зацеплении за кабель, например при тралении. Такие кабели, как правило, имеют защиту в виде проволочной брони.

Каждый такой кабель имеет заявленную производителем максимально-допустимую растягивающую нагрузку, указанную в паспорте на кабель, которая обеспечивает его функционирование в определенных условиях. Проблемой является обеспечение надежного, с точки зрения прочности, соединения его с кабельными вводами соединяемых кабелем изделий.

Учитывая специфику применения гидроакустических станций, применение стандартных (покупных) кабельных вводов не всегда возможно. В таких случаях, кабельные вводы и узлы крепления брони в них приходится разрабатывать отдельно. Разработка кабельных вводов, с точки зрения надёжности фиксации брони кабеля, сводится проектированию узлов крепления брони (рис.2), обеспечивающих необходимую прочность соединения на разрыв.

В данной статье проводится сравнительная оценка различных конструкций соедине-

тельных муфт. На основании сравнительной оценки проводится оптимизации различных вариантов узлов крепления брони.

Постановка задачи исследования

Наиболее точным способом сравнительной оценки является проведение натурных экспериментов по растяжению кабеля, зафиксированного в кабельном вводе, однако, ввиду большого количества сравниваемых моделей узлов крепления брони, постановка натурных экспериментов приведёт к удорожанию и увеличению трудозатрат разрабатываемого кабельного ввода.

При этом наиболее целесообразным будет проведение расчётно-теоретической оценки функционирования различных моделей кабельных вводов с последующей экспериментальной оценкой на натурной модели. Подобный подход позволяет провести сравнительную оценку относительно большого количества вариантов конструкций кабельных вводов с минимальными материальными затратами связанными с их изготовлением и натурными испытаниями, после чего, на основании полученных данных, выбрать наиболее оптимальную конструкцию, отвечающую заданным требованиям и провести ее испытание.

В качестве примера подобного похода проведём расчётно-теоретическую оценку магистрального кабеля стационарной гидроакустической станции. Предположим, что на этапе эскизного проекта средствами 3D-моделирования разработана модель кабельного ввода представленного на рисунках 2 – 4.

Кабельный ввод, состоит из фланца с конусом и гайки. Фланец и гайка имеют цилиндрический резьбовой участок. При монтаже, проволочная броня кабеля устанавливается на конусе фланца и затягивается гайкой.



Рисунок 2 – Кабельный ввод. Общий вид

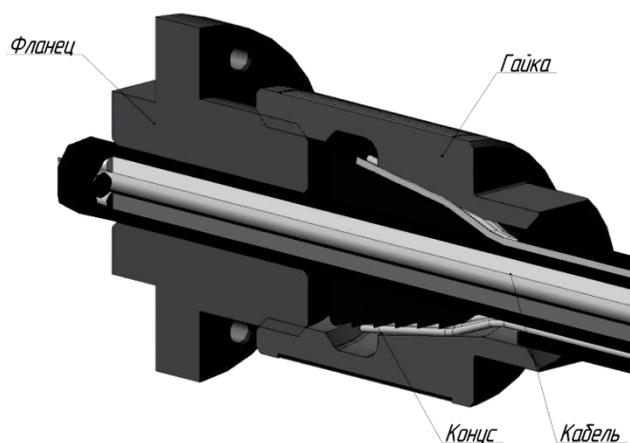


Рисунок 3 – Основные элементы узла крепления кабеля в кабельном вводе



Рисунок 4 – Силовой элемент кабеля, установленный на конусе (гайка не показана)

- В результате расчетов требуется:
- определить оптимальные конструктивные параметры деталей узла крепления силового элемента кабеля;
 - подобрать максимально допустимую осевую нагрузку и усилие затяжки гайки, обеспечивающие контактную прочность узла.

Определение оптимальных конструктивных параметров деталей узла крепления силового элемента кабеля

Расчетная оценка несущей прочности узла крепления силового элемента кабеля проводилась в пакете Ansys в статической постановке.

На первом этапе было проведено полномасштабное исследование модели, представленной на рис. 2 – 4. Была поставлена контактная задача, учитывающая пластическое деформирование. Для решения использовались системные ресурсы ЭВМ, значительно выходящие за пределы стандартных офисных ЭВМ (оперативная память 128 Гб, количество процессоров с тактовой частотой 2 Гц 16 шт. и др.). Полученное решение

данной задачи заняло 24 часа при условии, что удастся добиться сходимости решения с первого раза, т.е. в случае линейной упругости. На рисунке 5 представлены результаты решения варианта задачи по истечению двух суток. Здесь была достигнута сходимость решения в условиях появления пластических деформаций в зоне контакта жилы брони кабеля и конуса. В расчетах получено наибольшее напряжение смятия на поверхности контакта жил и конуса $\sigma_{см} = 1247$ МПа и радиальной реакции $R = 2501$ Н.

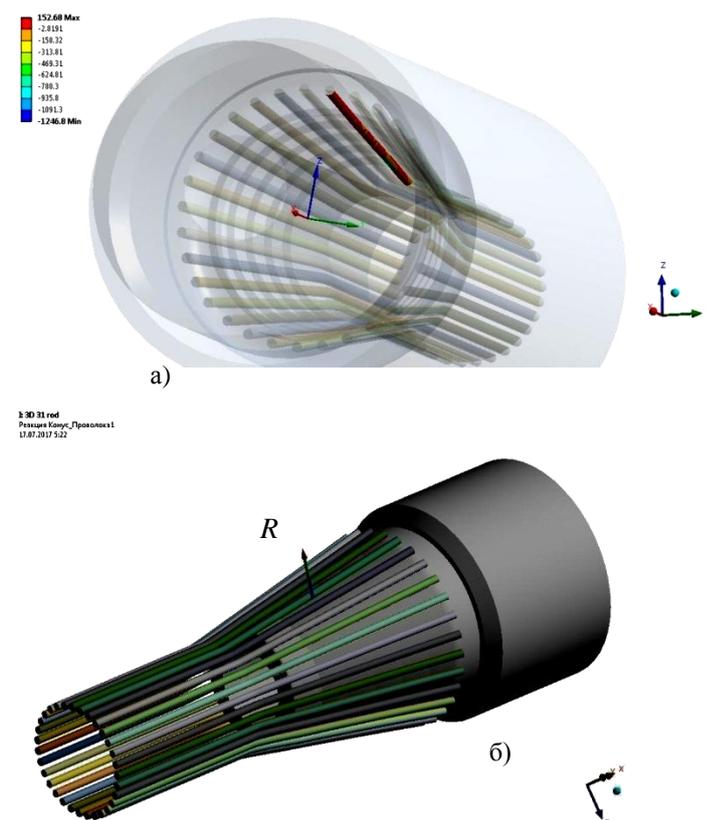


Рисунок 5 – Напряженное состояние жил кабеля: а) – контактные напряжения; б) – Интенсивности напряжений

Поскольку трудоемкость решения значительная, то для осуществления вариаций конструктивными параметрами анализируемого устройства с целью их рационального выбора было принято решение произвести упрощение задачи.

Так для целей уменьшения расчетных ресурсов при выборе рациональных параметров конуса далее оценка проводилась в осесимметричной постановке, где силовой элемент был задан как сплошная осесимметрическая оболочка (рис. 6), имеющая поперечное сечение эквивалентное по площади сечению проволочной брони. Геометрия гайки и фланца также упрощена

при условии сохранения геометрии конусной части и жесткости деталей в расчетной области.

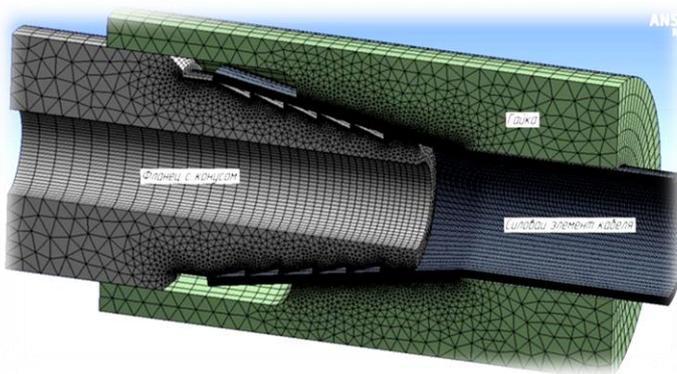


Рисунок 6 – Расчётная модель в осесимметричной постановке

Из расчета также исключены элементы кабеля (оплетка, жилы и т. д.), прочность которых несоизмеримо мала, по сравнению с его силовыми элементами. Принятые упрощения значительно сократили расчетные ресурсы, однако позволяют провести лишь качественную оценку моделей кабельного ввода, так как форма силового элемента в виде сплошной оболочки значительно отличается от реального.

На рисунке 7 представлена схема приложения граничных условий

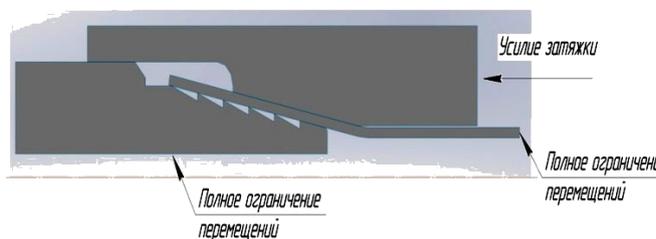


Рисунок 7 – Схема приложения граничных условий

Граничными условиями решения задачи определены следующие:

- фланец с конусом жестко закреплены;
- силовой элемент кабеля жестко закреплён с торца;

- с торца гайки приложено усилие затяжки. Так как гайка сопрягается с фланцем посредством резьбового соединения, то для сравнительной оценки, величина усилия затяжки может быть выбрана исходя из максимального усилия затяжки согласно стандарту на резьбу. В данном расчёте усилие затяжки $F=100000$ Н, что приблизительно соответствует резьбе М36.

- так как при моделировании интерес представляют в основном поверхности гайки и конуса, контактирующие с силовым элементом кабеля то для упрощения расчёта резьбовое соедине-

ние «гайка-фланец» было заменено контактом сопрягаемых поверхностей с бесконечно малым коэффициентом трения;

- для сопрягаемых поверхностей втулки, конуса и силового элемента выбран контакт с коэффициентом трения 0,15.

В качестве моделей материалов определена сталь с указанными на рисунке 8 механическими характеристиками.



Рисунок 8 – Модели материалов узла крепления силового элемента

Для сравнительного анализа было отобрано несколько расчётных моделей:

- с кольцевыми проточками на конусе (угол конуса 10°);
- с уменьшенной глубиной проточек на конусе (угол конуса 10°);
- с гладким конусом (угол конуса 10°);
- с гладким конусом (угол конуса 5°).

В результате расчета узла крепления силового элемента кабеля были получены эпюры эквивалентных напряжений и силы реакций R в зоне контакте гайки, конуса и силового элемента кабеля (рис. 9), препятствующие проскальзыванию силового элемента при осевой нагрузке (рисунки 10 – 13).

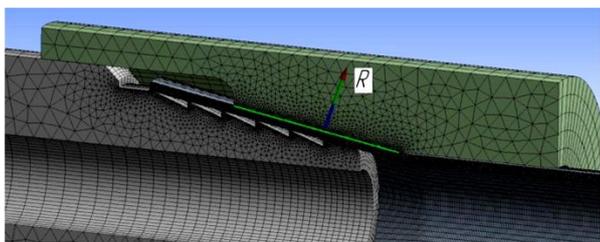


Рисунок 9 – Сила, препятствующая проскальзыванию силового элемента при осевой нагрузке

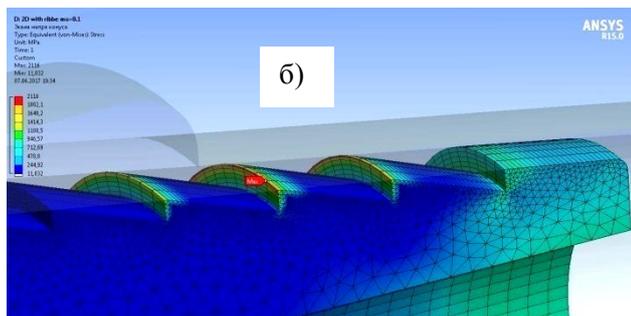
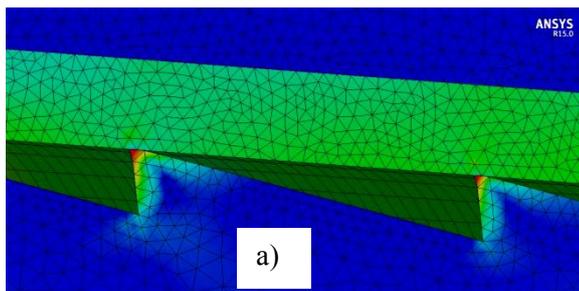


Рисунок 10 – НДС штатной модели

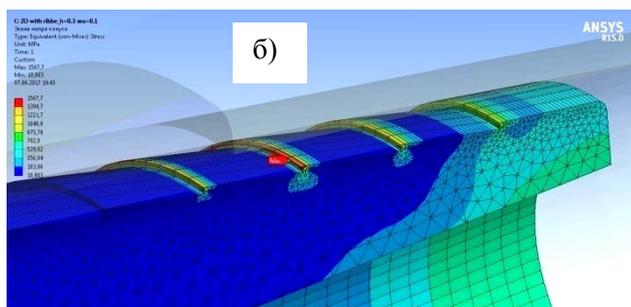
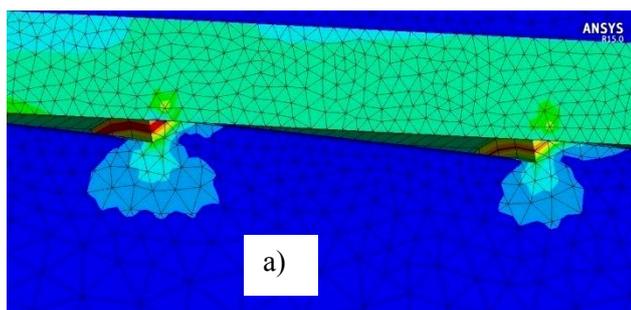


Рисунок 11 – НДС модели с уменьшенной глубиной проточек на конусе

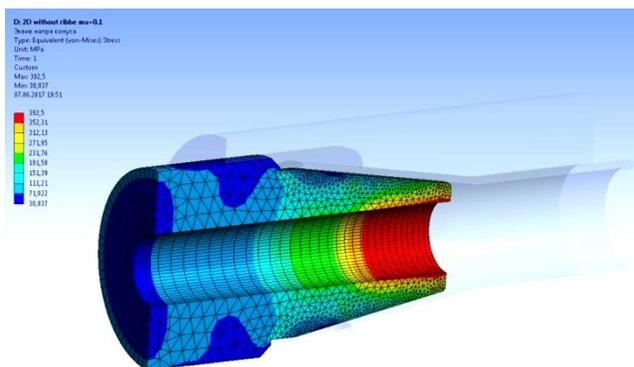


Рисунок 12 – НДС модели с гладким конусом

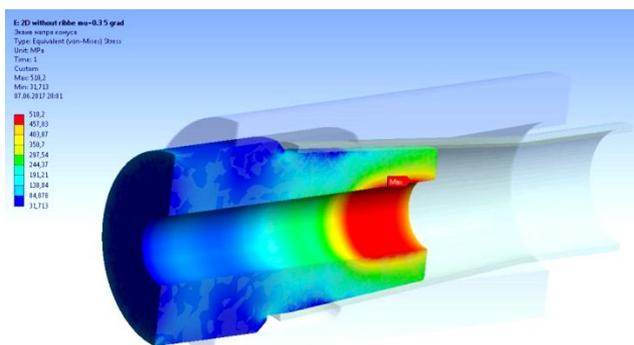


Рисунок 13 – НДС модели с углом конуса 5°

В результате качественной оценки выбранных моделей, различающихся перечисленными конструктивными параметрами деталей узла крепления силового элемента кабеля определено, что при затяжке гайки в штатной конструкции может происходить пластическая деформация кромок кольцевых проточек (рис. 9 а, б) и как следствие их дальнейшее разрушение. При этом, очевидно, что проточки не заполняются силовым элементом, вследствие его деформации, как это планировалось изначально.

Отсюда можно сделать вывод, что для эффективной работы данного узла следует либо заменить материал силового элемента на более пластичный, либо уменьшать глубину проточек. Необходимость уменьшения глубины проточек подтверждается сравнением уровней напряжений на конусе штатной конструкции (рис. 10 а, б) и уровней напряжений в конструкции с уменьшенной проточкой (рис. 11 а, б). Так из рис. 11 виден, что при близком характере распределения напряжений в конструкции с уменьшенной проточкой максимальные напряжения почти на 500 МПа ниже, чем в штатной при том же усилии затяжки. Следует отметить, что отсутствие проточек (рис.12) приводит к еще большему снижению уровня контактных напряжений. Причиной этому является увеличение площади контактной поверхности.

При вариации углом конуса получено, что при уменьшении угла раствора конуса до величины 5-ти градусов, величина радиальной силы R значительно возрастает (рисунок 13) по сравнению с силой R остальных конструкция с углом конуса 10 градусов. Это является положительным фактором, с точки зрения осевой (несущей) прочности соединения. Однако с уменьшением угла конуса значительно возрастает уровень напряжений смятия, как на самом конусе, так и на втулке, что может привести в их разрушению и, следовательно, к недостаточной несущей способности соединения.

Таким образом, из рассмотренных способов улучшения конструктивных параметров деталей узла затяжки кабеля, наиболее предпочтительными являются мероприятия, приводящие с одной стороны к уменьшению контактных напряжения в вершинах кольцевых канавок (в выступах), а с другой стороны – к увеличению радиальной силы R , способствующей росту сил трения и увеличению несущей способности соединения. Оба эти мероприятия сводятся к уменьшению глубины кольцевых проточек конуса, увеличению количества канавок (частоты нарезки) и уменьшению угла раствора конуса. Ввиду того, что при натяжении силового элемента основным фактором, препятствующим его проскальзыванию (в рассмотренных конструкциях) является сила трения, то рационализация конструкции, так или иначе, должна быть сопряжена с повышением силы трения, поэтому в данном случае полный переход на гладкий конус может быть нецелесообразен. Альтернативой кольцевым проточкам, в данном случае, может быть сетчатое рифление.

Подбор максимально допустимой осевой нагрузки на силовой элемент

После выбора рациональной конструкции конуса узла крепления силового элемента кабеля, необходимо оценить максимальную допустимую осевую нагрузку, при которой происходит удержание силового элемента (проволочной брони) между гайкой и конусом при необходимой затяжке гайки. Т.е. необходимо также обеспечить контактную прочность системы «гайка-конус-силовой элемент». Для постановки данной задачи на ЭВМ требуется моделирование силового элемента, состоящего из 31-й жил, равномерно расположенных вокруг конуса.

В соответствии с принятой стратегией упрощения расчетов, моделирование данной задачи недопустимо производить в полной постановке, при условии решения сложной контактной задачи с пластическим деформированием для 31-о жильной конструкции при отсутствии

достаточных системных ресурсов, имеющихся лишь на супер-ЭВМ. Здесь упрощение расчетной модели произведем за счет исключения из анализа части симметрично расположенных жил.

Так как узел крепления силового элемента кабеля является осесимметричным, то была подобрана выборка расчётных моделей, образованная путем разбиения узла на меридиальные части, имеющие циклическую симметрию. Каждая часть включает от 1 до 4-х жил силового элемента кабеля (рисунок 14 – 17). При этом, для упрощения, конус и фланец выполнены как одна деталь. К плоскостям циклической симметрии были приложены граничные условия в виде ограничения перемещений, компенсирующие отброшенные части узла крепления. Схема приложения граничных условий приведена на рисунке 15.

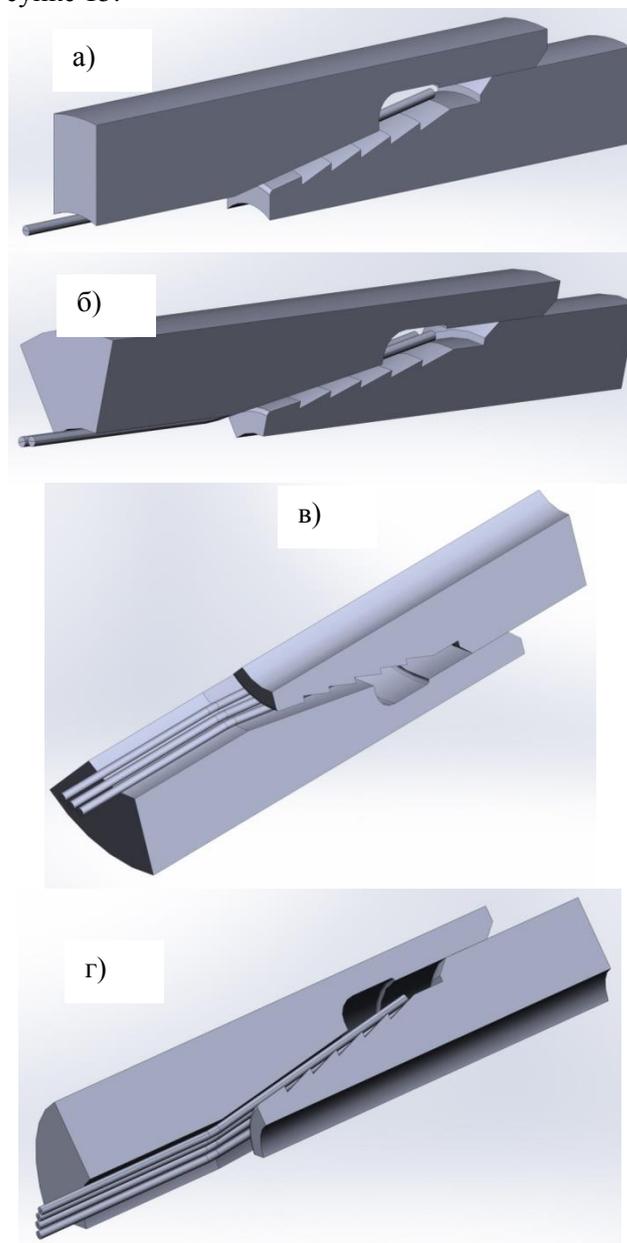


Рисунок 14– Расчётные модели: а) – с одной жилой; б) – с двумя жилами; в) – с тремя жилами; г) – с четырьмя жилами

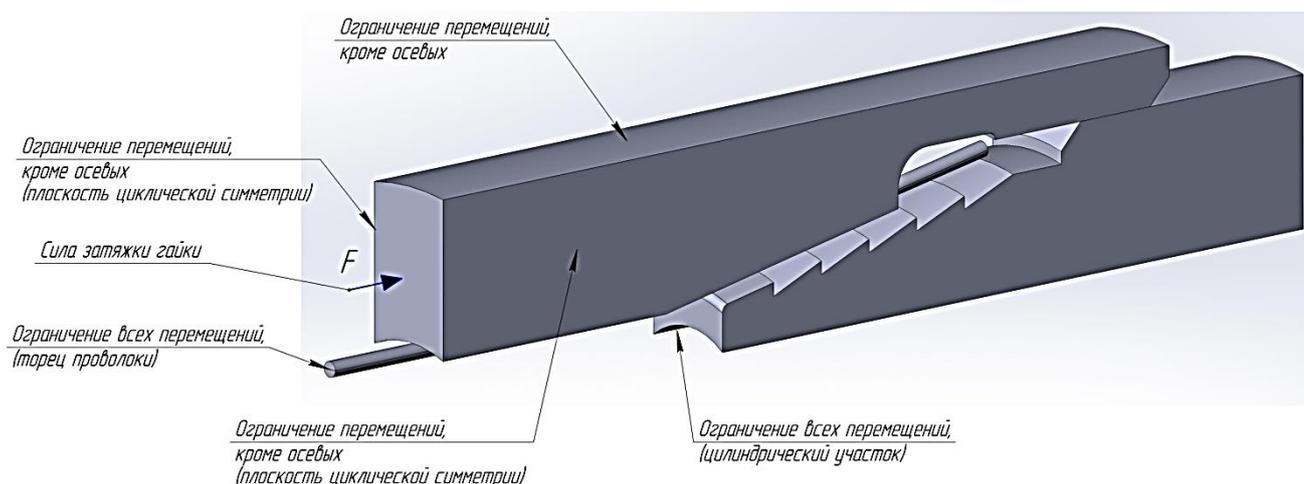


Рисунок 15 – Схема приложения граничных условий

В представленных расчётных моделях для сопрягаемых поверхностей гайки и фланца был задан контакт с бесконечно малым коэффициентом трения μ . Коэффициент трения для сопрягаемых поверхностей гайки, конуса и силового элемента на практике составляет величину порядка $\mu = 0,3$, однако в расчётах было задано его значение $\mu = 0,15$ исходя из возможной нестабильности коэффициента трения при затяжке.

Построенные модели использованы для установления регрессионных зависимостей от внешних факторов нагружения для напряжения смятия $\sigma_{см}$, возникающего в зоне контакта втулки, конуса и силового элемента и ограничивающего прочность жилы проволочной брони, а также для радиальной реакции R , способствующей несущей способности соединения. Моделирование нагружения узла крепления силового элемента кабеля проводилось в пакете Ansys в статической постановке.

Для расчётных моделей с числом жил от 1 до 4-х в пакете Ansys были реализованы расчётные эксперименты. В качестве варьируемых факторов были приняты усилия затяжки втулки F , количество жил n и силы R возникающие в зоне контакте втулки, конуса и силового элемента, препятствующие проскальзыванию элемента при осевой нагрузке.

На рисунке 16 приведены результаты проведенного эксперимента для расчётной модели с тремя жилами. Схожесть полученных результатов с натурными испытаниями по растяжению кабеля, зафиксированного в кабельном вводе можно оценить по деформациям конуса приведённого на рисунке 17. Из рисунков видно, что в обоих случаях участки конуса, испытывающие максимальную нагрузку совпадают. Результаты экспериментов по всем расчётным моделям приведены в таблице 1.

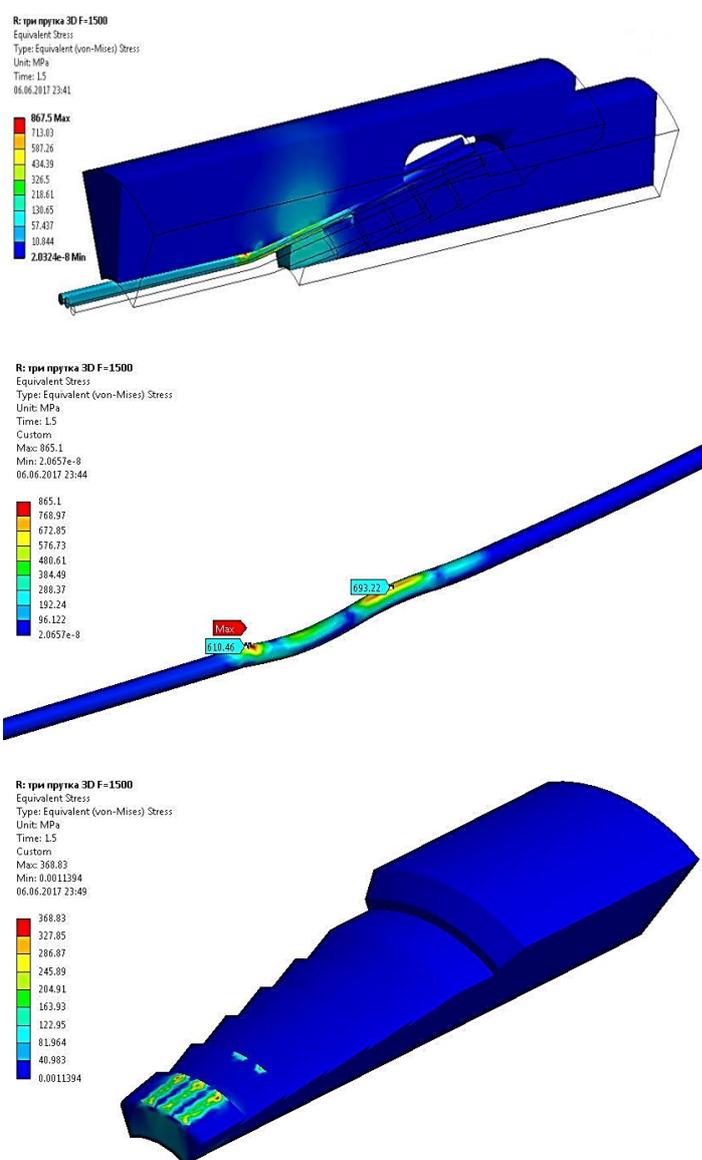


Рисунок 16 – Распределение эквивалентных напряжений, МПа



Рисунок 17 – Деформация конуса и гайки кабельного ввода после затяжки гайки и приложения осевой нагрузки

Таблица 1 – План реализации эксперимента

№ эксперимента	F , Н	n , шт	R , Н (для одной жилы)	$\sigma_{см}$, МПа (для одной жилы)
1	2000	1	5936	2465
2	30000	2	41076	3382,6
3	30000	3	31120	3199
4	30000	4	21164	3116

По приведённому плану эксперимента с помощью инструментов регрессионного анализа Microsoft Excel [2] получены уравнения линейной регрессии:

$$R = 1,6105 \cdot F - 9956 \cdot n + 12670857;$$

$$\sigma_{см} = 0,03693 \cdot F - 1333 \cdot n + 2524,433.$$

Коэффициент детерминации полученных уравнения равен 0,99. Это означает, весьма тесную связь варьируемых факторов с результатом.

Оценка адекватности полученного уравнения была проведена по критерию Фишера. Фактическое значение критерия Фишера для

уравнения силы R составляет $\Phi = 49,79$. Табличное значение критерия Фишера $\Phi_{таб} = 6,94$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$ [2]. Фактическое значение критерия Фишера для уравнения силы R составляет $\Phi = 141,5$. Табличное значение критерия Фишера $\Phi_{таб} = 6,94$ при уровне значимости $\alpha = 0,05$. Следовательно, условие адекватности уравнений регрессии выполняется, и уравнения могут быть использованы для определения допустимого усилия затяжки с заданным количеством жил силового элемента и заданной силой R , препятствующие проскальзыванию элемента при осевой нагрузке.

После подстановки в уравнения регрессии силы F , подобранной исходя из условий соблюдения контактной прочности при количестве жил $n=1$, были получены значения силы $R=1646$ Н (для одной жилы или $R=51029$ Н при количестве жил $n=31$) и напряжение смятия для каждой жилы из условия соблюдения контактной прочности $\sigma_{см} = 3499$ МПа.

Учитывая, что допустимые напряжения смятия принято считать $|\sigma_{см}| = (2...2,5)\sigma_t = 3300...4125$ МПа [3], видно, что условие контактной прочности выполняется, т.е. $\sigma_{см} < |\sigma_{см}|$.

После умножения, суммарной для всех жил силы R , на коэффициент трения системы «гайка-конус-силовой элемент» была получена сила трения, препятствующая проскальзыванию силового элемента при его осевой нагрузке,

$$F_{тр} = R \cdot f_{тр}.$$

Учитывая возможную нестабильность коэффициента трения, при расчёте было выбрано значение коэффициента трения в диапазоне $f_{тр} = 0,15...0,35$. При этом значение силы трения системы «гайка-конус-силовой элемент» было получено в диапазоне $F_{тр} = 7654,47...17860,449$ Н.

Таким образом, максимально допустимая осевая нагрузка на силовой элемент, при силе трения соответствующей минимальному значению указанного диапазона может быть не более 7654 Н.

Результаты данного расчёта были подтверждены экспериментально при проведение натурального эксперимента, по растяжению кабеля на разрывной машине, зафиксированного в кабельном вводе по конструкции и механическим

свойствам материалов полностью идентичному кабельному вводу приведённому в расчёте.

На рисунке 18 и 19 приведены внешний вид закрепления кабеля и результаты испытаний, соответственно.



Рисунок 18 – Крепление кабеля на разрывной машине

На рисунке 20 представлена диаграмма растяжения кабеля на разрывной машине, из которой видно, что жилы силового элемента перестают удерживаться силой затяжки гайки уже при 10702 Н, что приблизительно соответствует максимально допустимой осевой нагрузке на силовой элемент, при силе трения соответствующей минимальному значению вышеуказанного диапазона.

Выводы

Проведен анализ НДС деталей узла крепления брони магистрального кабеля гидроакустической стпанции с использованием CAD/CAE технологий, реализованных в программном комплексе ANSYS. Разработан подход, позволяющий значительно снизить системные ресурсы при расчетно-теоритическом анализе НДС.

Путем вариации конструктивными параметрами деталей устройства выбраны наиболее рациональные параметры деталей и усилия закрепления, обеспечивающие его наибольшую несущую способность.

Разработанная методика позволяет путём подхода, основанного на полном факторном экс-

перименте проводить качественную оптимизацию различных конструкций кабельных вводов бронированных кабелей, имеющих проволочную броню и определять максимальную осевую нагрузку на силовой элемент кабеля. Достоверность методики подтверждена натурными испытаниями.



Рисунок 19 – Кабель после разрушения Соединения

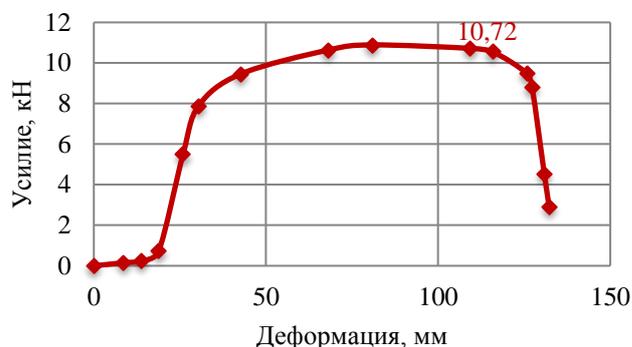


Рисунок 20 – Диаграмма растяжения кабеля на разрывной машине

Литература

1. Лепеш Г.В., Егоров К.А. Построение характеристики процесса срезания выступов деформируемых элементов на базе численного эксперимента. /Технико-технологические проблемы сервиса. - №3 (37), 2016. С.30 -35.
2. Практикум по эконометрике с применением MS EXCEL. Линейные модели парной и множественной регрессии./ Шалабанова.К., Роганов Д.А. – Казань: ТИСБИ, 2008-53 с.
3. Орлов П. И. Основы конструирования: Справочно-методическое пособие. В 2-х кн. Кн. 1/Под ред. П. Н. Учаева.-Изд.3-е, испр. - М.:Машиностроение, 1988.- 560 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Г.В. Лепеш¹, С.К. Лунева²

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ)
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21*

Изложены основы снижения тепловых потерь и повышения энергоэффективности топливосжигающих установок. Проведена оценка эффективности ряда мероприятий по энергосбережению и энергоэффективности.

Ключевые слова: энергоэффективность, утилизация тепловой энергии, рекуперация, конденсация, турбулизация потока.

INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY OF FUEL AND ENERGY INSTALLATIONS

G.V. Lepesh, S.K. Luneva

*St. Petersburg State Economic University (SPbGEU)
191023, St. Petersburg, st.Sadovaya, 21*

Bases of decrease in thermal losses and increase in energy efficiency fuel of the burning installations are stated. Assessment of efficiency of a number of actions for energy saving and energy efficiency is carried out.

Keywords: energy efficiency, utilization of thermal energy, rekuperation, condensation, stream turbolization.

Введение

Современный этап развития российской и мировой экономики напрямую связан с повышением энергоэффективности технологических процессов и производств и энергосбережением во всех сферах деятельности, обусловленных с одной стороны энергетической безопасностью, а с другой – экологическими факторами загрязнения природы промышленными отходами и парниковыми газами.

Принятые в российском законодательстве [1 – 4] нормы и индикаторы на современном этапе диктуют необходимость введения превентивных мер по повышению энергоэффективности и энергосбережению для повышения конкурентоспособности национальной экономики и снижения собственной энергетической безопасности.

В основе стратегий повышения энергоэффективности топливно-энергетических установок может лежать повышение эффективности сжигания топлив для получения тепловой энергии и сокращение потерь тепловой энергии через стены или с дымовыми газами.

Тепловая энергия, выделяемая при сгорании топлива и является мерой наибольшей

энергии, которая может быть использована непосредственно или сообщена рабочему телу для преобразована в другие виды энергии. Количество энергии, которое может быть выделено в процессе горения определяет теплопроводительность (тепловую ценность) топлива. Тепловую ценность топлива принято характеризовать его теплотворной способностью Q , выражаемой в ккал/кг (Дж/кг) или ккал/м³ (Дж/м³).

Для расчета содержания полезной энергии в топливе используется низшая теплота сгорания топлива (НТС), называемая также низшей теплотворной способностью или теплотой сгорания нетто (см. табл. 1). Эта величина представляет собой теплоту, получаемую в результате сгорания (окисления) топлива при условии, что образующийся при этом водяной пар остается в газообразном состоянии, не конденсируясь в воду. Это соответствует реальным условиям котлов, где водяной пар не охлаждается до точки росы, и скрытая теплота его конденсации недоступна для полезного использования.

¹Лепеш Григорий Васильевич – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения, СПбГЭУ, тел.: +7 921 751 2829, e-mail: gregory1@yandex.ru;

²Лунева Светлана Курусовна – доцент кафедры Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения, СПбГЭУ, тел.: +7 911 915 1670, e-mail: isvetlana1508@mail.ru

В некоторых странах (США и др.) странами используется высшая теплота сгорания топлива (ВТС), называемая также высшей теплотворной способностью или теплотой сгорания брутто (см. табл.1). Эта величина включает в себя скрытую теплоту конденсации пара, и

КПД, рассчитываемый на ее основе, ни при каких условиях не может превысить теоретического предела в 100%. ВТС_{сух} представляет собой ВТС топлива, не содержащего воды или водяного пара, а ВТС_{вл} относится к топливу с некоторым содержанием влаги.

Таблица 1 – Примеры значений высшей и низшей теплоты сгорания для различных видов топлива [7]

Топливо	Влажность (% мокрого веса)	Содержание водорода (кгН/кг топл.)	ВТС _{сух} (МДж/кг)	ВТС _{вл} (МДж/кг)	НТС _{сух} (МДж/кг)	НТС _{вл} (МДж/кг)	НТС _{вл} /ВТС _{вл} (безразм.)
Битуминозный уголь	2	4,7	29,6	29,0	28,7	28,1	0,968
Природный газ 1 (Уренгой, Россия)	0		54,6	54,6	49,2	49,2	0,901
Природный газ 2 (Канзас, США)	0		47,3	54,6	42,7	42,7	0,903
Тяжелый мазут	0,3	10,1	43,1	43,0	40,9	40,8	0,949
Легкий мазут	0,01	13,7	46,0	46,0	43,0	43,0	0,935
Сосновая кора невысушен.	60	5,9	21,3	8,5	20	6,5	0,767
Сосновая кора высушен.	30	5,9	21,3	14,9	20	13,3	0,890
Природный газ 1: CH_4 (97,1 объемн. %), C_2H_6 (0,8%), C_3H_8 (0,2%), C_4H_{10} (0,1%), N_2 (0,9 %), CO_2 (0,1 %)							
Природный газ 2: CH_4 (84,1 объемн. %), C_2H_6 (6,7%), C_3H_8 (0,3%), C_4H_{10} (0,0%), N_2 (8,3 %), CO_2 (0,7 %)							

Полнота сгорания топлива

Распределение вносимой в топку теплоты (рис.1) на полезно используемую и тепловые потери производится путем составления теплового баланса [7].

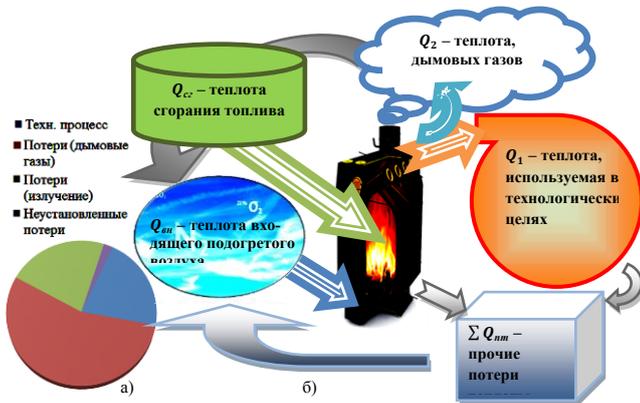


Рисунок 1 – Энергетический баланс топливосжигающей установки: а) – баланс энергии; б) – схема распределения тепловых потоков

Для большей части достаточно сухих и малосернистых твердых топлив принимается $Q_p = Q_H^i$, а для газового топлива – $Q_p = Q_G^i$.

Для твердых топлив с высоким содержанием влаги и жидких топлив учитывается физическая теплота топлива i_m , которая зависит от температуры и теплоемкости поступающего на горение топлива:

$$i_T = c_T \cdot t_T, \quad (2)$$

где c_T – удельная теплоемкость топлива, $кДж/(кг \times ^\circ C)$; t_T – температура топлива, $^\circ C$.

Располагаемая теплота Q_p расходуется на производство полезной теплоты Q_1 и тепловые потери на 1 кг твердого или жидкого топлива либо на 1 м³ газообразного топлива:

$$Q_p = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (3)$$

где Q_1 – полезно используемая теплота; Q_2 – потери теплоты с уходящими газами; Q_3 – потери теплоты с химической неполнотой сгорания топлива; Q_4 – потери теплоты с механической неполнотой сгорания; Q_5 – потери теплоты в окружающую среду через обмуровку; Q_6 – потери с физической теплотой шлака.

Разделив правую и левую части формулы теплового баланса на Q_p и умножив на 100 %, получим уравнения теплового баланса в следующем виде:

$$q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6 = 100 \%, \quad (4)$$

где q_1 – доля полезно использованной теплоты, %, $q_2 - q_6$ – потери теплоты, выраженные в %.

Коэффициент полезного действия котла:

$$\eta_k = 100 - (q_1 + q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6), \%, \quad (5)$$

Большая часть теплоты, вносимой в топку, воспринимается поверхностями нагрева и передается рабочему телу. За счет этой теплоты производится подогрев воды до темпера-

туры кипения, ее испарение и перегрев пара. Это полезно используемая теплота. Остальная часть составляет тепловые потери.

В процессе сгорания топлива могут оставаться несгоревшие газообразные горючие компоненты CO, H_2, CH_4 (продукты химического недожога), догорание которых за пределами топочной камеры вследствие низких температур практически невозможно. Химическая неполнота сгорания топлива может являться следствием:

-общего (или местного) недостатка воздуха ($\alpha < 1$);

-плохого смесеобразования (способ сжигания топлива, конструкция горелочного устройства);

-низких значений температуры или времени пребывания газов в объеме топки и невозможности в связи с этим завершения реакции горения).

Из-за определенных трудностей в организации процесса полного перемешивания топлива с воздухом в рабочем объеме топок могут появиться области, где будет ощущаться местный недостаток или избыток окислителя – воздуха. В результате этого качество (полнота) горения ухудшается. Поэтому в реальных условиях воздух для горения топлива подается в большем количестве по сравнению с его теоретическим количеством V^0 . Отношение действительного количества воздуха V_D , подаваемого в топку, к теоретически необходимому и называется коэффициентом избытка окислителя (воздуха): $\alpha = V_D/V^0$.

Коэффициент избытка окислителя α для горючей стехиометрической смеси равен единице. Слишком низкий расход воздуха приводит к затуханию пламени и необходимости повторного зажигания, что может вызывать обратные удары пламени и, как следствие, повреждение оборудования. При проектировании и тепловом расчете топок или других камер сгорания значение α выбирают в зависимости от вида сжигаемого топлива, способа сжигания и конструктивных особенностей топочных камер. Значение α колеблется в пределах 1,02 – 1,5. Смесь с $\alpha < 1$ (избыток горючего) называется богатой, при $\alpha > 1$ (избыток окислителя) – бедной.

Коэффициент избытка воздуха в топке α выбирается в зависимости от:

- вида топлива (теплотехнических характеристик топлива);
- способа сжигания;
- конструкции топки;
- способа образования горючей смеси (конструкции горелки) и др.

Определяющими факторами при выборе оптимального значения коэффициента избытка воздуха являются минимальные суммарные потери тепла.

Потери теплоты с химическим недожогом зависят от вида топлива, способа его сжигания, конструкции горелок, аэродинамики камеры сгорания и принимаются на основании опыта эксплуатации котельных агрегатов.

Потери теплоты с химическим недожогом определяются суммарной теплотой сгорания продуктов неполного окисления горючей массы топлива:

$$q_3 = V_{cz} \left(\frac{126,4CO + 358,8CH_4 +}{107,9H_2} \right) 100/Q_p, \quad (6)$$

%, где CO, H_2, CH_4 – объёмные концентрации продуктов неполного сгорания топлива в сухих продуктах сгорания, %; V_{cz} – объем сухих продуктов сгорания, m^3/kg .

Потери теплоты с химическим недожогом зависят от коэффициента избытка воздуха (рис. 2) и нагрузки топочного устройства (рис. 3).

Наличие химического недожога при $\alpha = 1$ определяется несовершенством аэродинамики современных горелочных устройств и камер сгорания, не позволяющих достичь идеального (на молекулярном уровне) перемешивания топлива с воздухом. При коэффициенте избытка воздуха $\alpha_{кр}$ (кривая q_3) химический недожог не возникает. Обычно $\alpha_{кр} = 1,02 \div 1,03$, что и характеризует степень аэродинамического несовершенства горелочного устройства.

Механический недожог имеет место при сжигании твёрдых топлив (торфа, углей, сланцев) представляет собой коксовые частицы, которые покидают зону высоких температур, не успев полностью догореть. Механический недожог при сжигании газа и мазута может иметь место также в виде твердых частиц или сажи, возникающих в высокотемпературной зоне при недостатке кислорода.

В нормальных условиях эксплуатации потери с механическим недожогом при сжигании твердых топлив составляют $q_4 = 0,5 \div 5$ %. При сжигании газа и мазута потери с недожогом невелики (как правило, менее 1%).

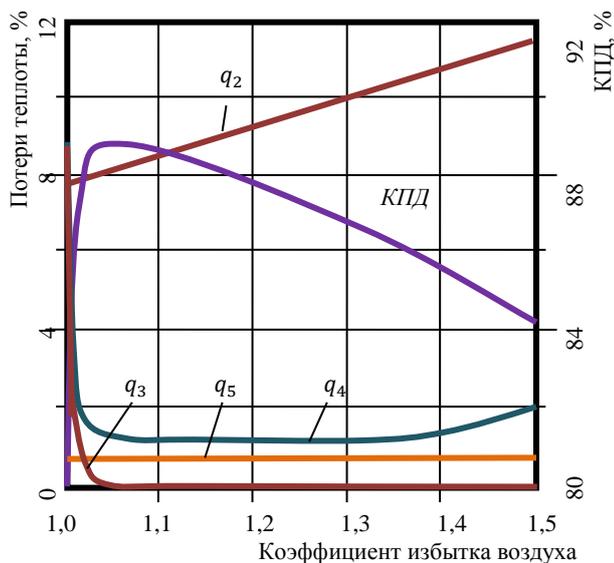


Рисунок 2 – Зависимость потерь теплоты и КПД от коэффициента избытка воздуха

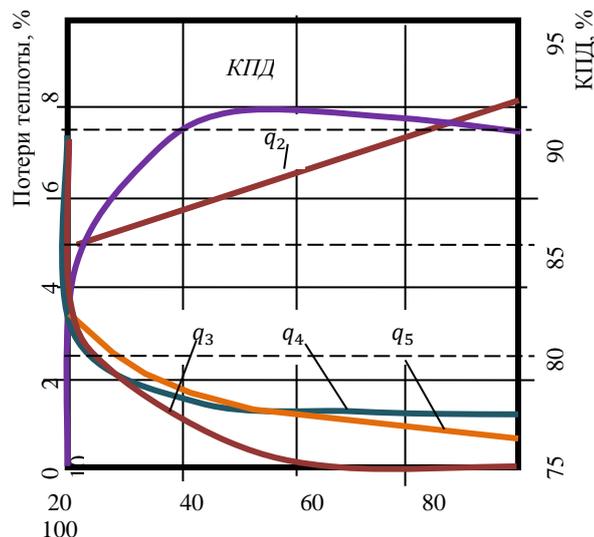


Рисунок 3 – Зависимость потерь теплоты и КПД от тепловой мощности котла

Обеспечение необходимого качества горючей смеси, т.е. близкой к стехиометрической, связан с необходимостью интенсификации процесса смешения горючего и окислителя. При сжигании газа процесс смешения связан с затратами энергии на подачу воздуха и газа и интенсификацию смешивания путем продувки через относительно небольшие отверстия газовых горелок, оказывающих аэродинамическое сопротивление процессу.

Наиболее эффективной по отношению к указанным особенностям – является струйно-вихревая газовая горелка (рис.4), принцип действия которой основан на известном вихревом эффекте. Вихрь образуется при повороте пото-

ка воздуха подающегося через патрубок 5, в вихревой трубе 1. При этом на выходе из насадки образуется вихрь, в центральной части которого создается пониженное давление, побуждающее к движению в зону горения газ через патрубок 6 и газовую камеру 2. В зоне патрубка происходит интенсивное перемешивание газа с вращающимся потоком воздуха.

Важной особенностью струйно-вихревых горелок является способность поддерживать устойчивость пламени при любом давлении газа, что значительно расширяет возможности регулирования производства тепловой энергии.

При этом достигаются следующие экономические, экологические и эргономические показатели:

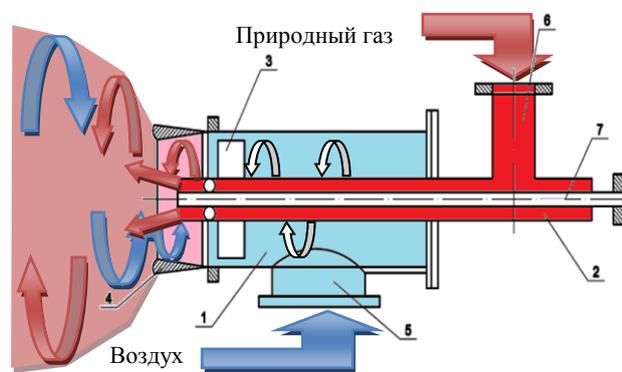


Рисунок 4 – Схема конструкции вихревых газовых горелок: 1 – воздушная камера; 2 – газовая камера; 3 – завихритель; 4 – насадка горелки; 5 – воздушный патрубок; 6 – газовый патрубок; 7 – смотровая труба

1. Снижение удельных затрат природного газа от 5% до 10% за счет оптимизации топочного процесса, снижения потерь тепла и повышения КПД.

2. Снижение удельных затрат электроэнергии на привод тягодутьевых средств до 20% – за счет низкого аэродинамического сопротивления горелочного устройства.

3. Снижение уровня выбросов токсичных веществ NO_x и CO – за счет повышения качества сгорания и снижения потребления газа.

4. Работа в широком диапазоне давления газа в (низкое до 500 мм. в. ст, среднее до 2500 мм.в.ст.).

5. Высокая равномерность распределения температурного поля в топочном пространстве.

6. Снижение звукового давления (уровня шума) до 75 – 79 Дб.

Суммарный экономический эффект от замены существующих горелочных устройств

на более эффективные, обеспечивающие струйно-нишевую технологию будет складываться из эффекта от экономии природного газа при замене горелок

$$\Delta B_2 = k_2 \cdot B \quad (7)$$

и эффекта автоматизация процесса горения

$$\Delta B_A = k_A \cdot B, \quad (8)$$

где: B [тыс.м³] – годовое потребление топлива на выработку тепловой энергии; k_2 и k_A – коэффициенты экономии топлива при внедрении соответствующих мероприятий.

При этом годовая экономия в денежном выражении, тыс. руб:

$$\Delta \mathcal{E} = (\Delta B_2 + \Delta B_A) \cdot T_B;$$

где T_B [руб/м³] – стоимость природного газа.

Рассмотрим пример⁶:

Пусть известны:

- годовое потребление газового топлива котельной $B = 3457$ тыс. м³.
- тариф на газовое топливо $T_B = 3,78$ руб/м³.

Тогда экономия топлива при замене горелок на струйно-нишевые с учетом коэффициента снижения потребления топлива $k_2 = 3\%$ составит, тыс. м³: $\Delta B_2 = k_2 \cdot B = 0,03 \cdot 3457 = 103,71$.

Расчетная экономия природного газа при внедрении системы автоматизации горения при $k_A = 4\%$: $\Delta B_A = k_A \cdot B = 0,04 \cdot 3457 = 138,28$ тыс. м³.

Годовая экономия в денежном выражении: $\Delta \mathcal{E} = (\Delta B_2 + \Delta B_A) \cdot T_B = (103,71 + 138,28) \times 3,78 = 914,72$ тыс. руб.

Для оценки инвестиционной привлекательности мероприятий по энергосбережению и повышению энергетической эффективности используем такой критерий, как простой срок окупаемости:

$$DP = Inv/E_t, \quad (9)$$

где: E_t – экономия в период времени (на этапе t), тыс. руб; Inv – инвестиции (капитальные вложения) в проект, тыс. руб.

Очевидно, что объем инвестиций в данные мероприятия, исходя из необходимости переоборудования трех котлоагрегатов, составит:

$$Inv = N(C_G + C_A), \quad (10)$$

где: N [шт.] – количество котлов; C_G [тыс. руб] – капитальные вложения в мероприятие «Замена горелочных устройств», включающие закупку оборудования, демонтаж старых горелок, установка и пусконаладка новых; C_A [тыс. руб] – капитальные затраты мероприятия "Автоматизация горения", включающие проект системы

автоматизации, стоимость оборудование, монтаж и наладку.

Подсчитаем: $Inv = N(C_G + C_A) = 3 \cdot (956 + 184) = 3420$ тыс. руб.

Простой срок окупаемости комплекса, при условии, что годовая экономия при реализации мероприятий "Замена горелочных устройств" и "Автоматизация горения" для газовой котельной за отопительный период достигается в размере $\Delta \mathcal{E} = 914,72$ тыс. руб, составит:

$$DP = Inv/\Delta \mathcal{E} = 3420/914,72 = 3,74 \text{ лет.}$$

Т.е., срок окупаемости в данном случае составляет 4 года.

Рассмотрим пример⁷ достижения экономии топлива (мазута) за счет повышения эффективности его сгорания, и также как в предыдущем примере, как следствие, сокращения потребления мазута на выработку необходимого количества тепловой энергии. Известно, что сравнение скорости горения безводного и эмульгированного топлива показывает, что эмульгированное топливо при оптимальном уровне водности и оптимальной степени дисперсности водной фазы сгорает быстрее безводного. Результатом эмульгирования является уменьшение размеров капель мазута, что положительно сказывается на его горении. Физический эффект данного процесса объясняется особенностями горения капли – тем, что мелкодисперсные фракции обладают большей площадью горения и меньшей толщиной горящего слоя (рис.5).

При сжигании водо-мазутной эмульсии в котлоагрегатах и печах возможна экономия порядка 10% мазута по сравнению со сжиганием безводного топлива, а затраты дополнительной энергии на процесс эмульгирования – незначительные.

Кроме того, одним из факторов, определяющих эффективность использования водотопливных эмульсий в котельно-топочных процессах, является возможность на их основе решать ряд экологических проблем. Применение ВТЭ сокращает выход в газовых выбросах NO_x , примерно в 3 ÷ 4 раза снижает выброс сажи, уменьшает выход CO в среднем на 50%, бензопирена в 2 ÷ 3 раза и т.д. Наибольший экономический эффект и одновременное снижение газовых выбросов обеспечивает добавление в топливо 10 ÷ 15% воды, а наибольший экологический эффект в части утилизации загрязненных органическими продуктами вод реализуется при уровне водной фазы до 50%.

⁶ Из материалов ВЭШ СПбГЭУ

⁷ Из материалов ВЭШ СПбГЭУ

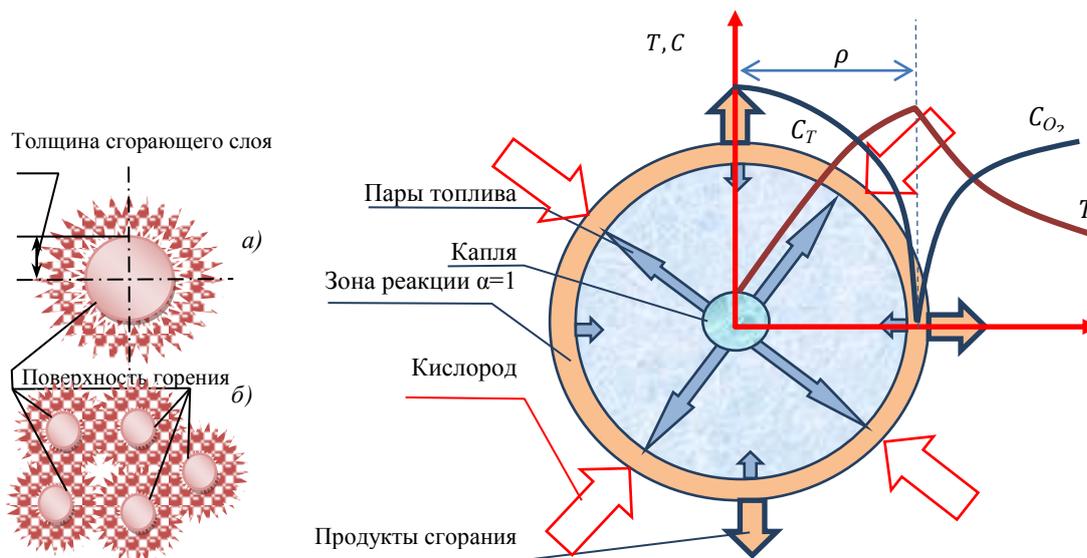


Рисунок 5 – Механизм горения капли жидкого топлива: а) – исходный продукт; б) – после эмульгации; ρ – радиус капли; C_T , C_{O_2} – объемная концентрация топлива (пары) и окислителя (кислород)

Это объясняется тем, что при горении водной эмульсии вода испаряется, не вступая в химическую реакцию. На испарение воды тратится большое количество энергии, выделяемой при горении мазута (скрытая теплота парообразования воды при атмосферном давлении $\rho = 2480 \text{ кДж/кг}$).

Преимущества системы топливоподачи с эмульгированием мазута очевидны еще потому, что:

1. Система эмульгации встраивается в действующую схему топливоподачи.
2. Не требуются дополнительные площади.
3. Реализовано автоматическое регулирование и поддержание заданной водности эмульсии.
4. Непрерывность, надежность и простота получения эмульсии.
5. Обеспечение возможности перехода с эмульсии на основное топливо без остановки топливосжигающего агрегата.

По данным, предоставляемым производителями и поставщиками оборудования для эмульгирования мазута известно о 10% снижении потребления топлива, однако опыт внедрения данного мероприятия на котельных показывает, что фактическая экономия топлива составляет 4÷6%.

Пусть известны следующие данные:

- годовое потребление жидкого топлива (мазута) $B = 505 \text{ т}$;
- тариф на топливо $T = 9615 \text{ руб/т}$.

Необходимо произвести расчет эффективности мероприятия при условии экономия

топлива при внедрении системы эмульгирования мазута с учетом коэффициента снижения потребления топлива $k = 4\%$.

Как и в предыдущем случае получим:

$$\Delta B = k \cdot B = 0,04 \cdot 505 = 20,2 \text{ т.}$$

Годовая экономия в денежном выражении при стоимости топочного мазута $T = 9615 \text{ руб/т, тыс. руб.}$:

$$\Delta \text{Э} = \Delta B \cdot T \cdot 10^{-3} = 20,2 \cdot 9615 \cdot 10^{-3} = 194,223 \text{ тыс. руб.}$$

Если объем инвестиций в данное мероприятие, исходя из совокупных затрат на разработку проекта системы эмульгирования, покупки и монтажа оборудования, составит $Inv = 700 \text{ тыс. руб.}$, то срок окупаемости мероприятия, по аналогии с предыдущим примером:

$$D_p = Inv / \Delta \text{Э} = 700 / 194,223 = 3,6 \text{ года.}$$

Т.е., срок окупаемости составляет 4 года.

Срок службы системы эмульгирования мазута составляет 15 лет. Таким образом, за 15 лет использования эмульгатора организация получает доход в размере $194,223 \cdot 15 - 700 = 2213,345 \text{ тыс. руб} = 2 \text{ млн } 213 \text{ тыс } 345 \text{ руб.}$

Одним из перспективных направлений повышения эффективности сжигания топлива является кислородное сжигание. Здесь в качестве окислителя при сжигании вместо атмосферного воздуха используется кислород, производимый на самом предприятии или закупаемый у внешнего поставщика (последний вариант имеет место чаще).

С данным методом связаны различные преимущества:

- повышенное содержание кислорода приводит к увеличению температуры сгорания и количества тепла, передаваемого технологическому процессу, что способствует уменьшению доли несгоревшего (не полностью сгоревшего) топлива и повышению КПД с одновременным сокращением выбросов NO_x ;

- поскольку атмосферный воздух на 80% состоит из азота, переход к кислородному сжиганию приводит к соответствующему сокращению массового расхода подаваемых и отходящих газов;

- сокращение массового расхода дымовых газов может привести к снижению требуемой мощности газоочистных систем (например, пылеулавливающего оборудования или систем очистки дымовых газов от NO_x , если необходимость в таких системах сохраняется) и соответствующего энергопотребления.

Для непосредственного использования тепла дымовых газов с целью подогрева воздуха горения в промышленных печах применяют рекуперативные и регенеративные горелки (рис.6). Как правило, они могут использоваться при высокой рабочей температуре технологического процесса ($700 \div 1100^\circ C$). Однако такая технология энергосбережения может быть реализована и как для сжигания топлива в котельных, так и в небольших топливных когенерационных газодинамических импульсных установках.

Регенеративные горелки устанавливаются парами и работают, поочередно переключаясь по принципу краткосрочной аккумуляции энергии дымовых газов (рис.6), проходящих через горелку, в керамических регенераторах тепла. Когда первая горелка работает, вторая выключена и через нее проходят горячие дымовые газы, при этом происходит нагрев регенеративной насадки. После нагрева насадки, через нее подается воздух горения. Проходя через регенеративную насадку, воздух нагревается и после этого поступает на сжигание топлива. После включения второй горелки, первая горелка выключается и начинается цикл нагрева ее регенеративной насадки. Циклы постоянно повторяются. Регенеративные горелки позволяют утилизировать до $85 \div 90\%$ тепла отходящих дымовых газов. Потребление топлива при этом может быть снижено на величину до 60% [1].

окисления топлива, при горении требуется определенное количество избыточного, по сравнению со стехиометрическим процессом, воздуха. Однако слишком большого избытка

тоже быть не должно, т.к. эффективность горения снизится вследствие того, что выделившаяся при горении теплота будет излишне расходоваться на подогрев дымовых газов, количество которых, как и содержание в них кислорода будет при этом расти.

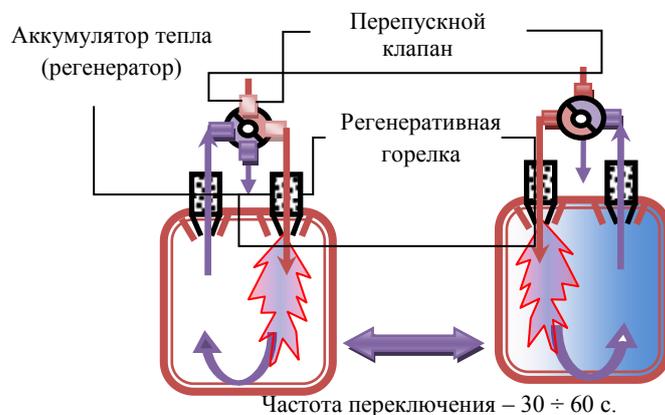


Рисунок 6 – Схема работы регенеративной горелки

Для того чтобы добиться полного с целью увеличения температуры горения и коэффициента полезного действия котла современные котельные установки оборудованы воздухоподогревателями. В КОТЛЫ для лучшего сгорания топлива направляется подогретый воздух от воздухоподогревателя.

Подогрев воздуха перед подачей его в топку для горения эффективно для всех топлив, но наибольший экономический эффект достигается при сжигании топлив с низкой теплотой горения. Теплота вносится в топочную камеру с подогретым воздухом, увеличивая имеющуюся теплоту топлива. Поступления потока теплоты в топку с топливом и воздухом увеличивает теоретическую температуру горения, т.е. теплоту сгорания топлива, что особенно важно при сжигании топлив с низкой теплотой сгорания. Повышение теоретической температуры горения значительно увеличивает радиационный теплообмен в топке, повышает температуру отходящих газов на выходе из топки, т.е. температурный напор в газоходе, что способствует интенсификации конвективного теплообмена между продуктами сгорания топлива и поверхностями нагрева котла, а также при этом уменьшаются потери теплоты от химического и механического недожога.

Таким образом, повышение температуры подогрева воздуха вызывает повышение температуры горения, что в целом приводит к снижению потери эксергии [7] при горении.

Еще одной НДТ рекомендовано справочным документом [7] является предвари-

тельный подогрев воздуха до очень высоких температур перед высокоскоростным вдуванием в топку, что обеспечивает полное сгорание топлива при очень низких уровнях кислорода. Результатом является более медленное и дли-

тельное горение, более низкая максимальная температура горения и более равномерное распределение температур, чем в традиционных печах (рис.7).

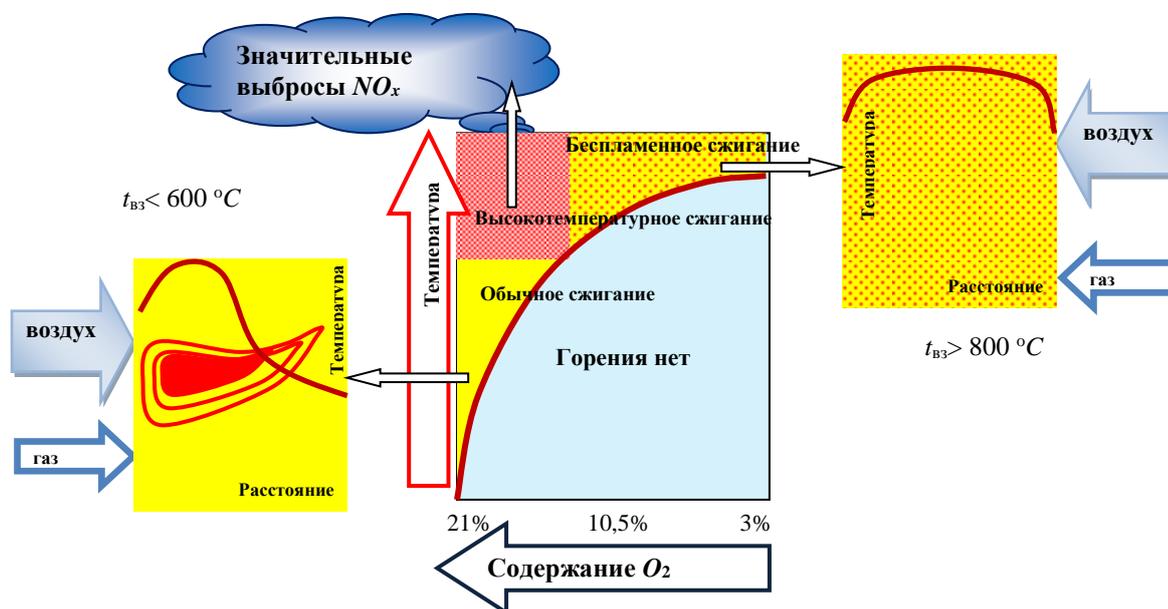


Рисунок 7 – Схема беспламенного горения топлива

Отсутствие пиков температуры при беспламенном сжигании позволяет достигать больших средних температур в печах без локального перегрева футеровки вблизи горелок. В результате интенсивность передачи тепла к обрабатываемой продукции может быть значительно увеличена, а уровень шума – существенно снижен.

Область применения этой технологии на сегодня ограничена крупными промышленными печами.

Результатом таких условий сжигания является: энергосбережение в объеме 9÷40%; сокращение выбросов NO_x на 60 ÷ 80%.

Таким образом, обеспечивается энергосбережение посредством ограничения расхода воздуха горения и оптимизации расхода топлива, что позволяет оптимизировать процесс сжигания и ограничить производство тепла реальными потребностями технологических процессов.

Наибольшая энергоэффективность топливосжигающей установки обеспечивается путем оптимизации как самого процесса сжигания. Так и других процессов, обеспечивающих сохранение полученной теплоты и передачи ее технологическому процессу. В условиях переменной производительности установки это возможно путем автоматизированного контроля и управления параметрами процесса. Автоматизированное управление процессом сжи-

гания может осуществляться посредством мониторинга и регулирования таких параметров, как расход топлива и воздуха горения, содержание кислорода в дымовых газах, а также потребность технологических процессов в тепловой энергии.

Определить, какое количество воздуха необходимо, можно только тогда, когда известны средние рабочие параметры горелки и измерено относительное количество кислорода или углекислого газа в дымовых газах. Помимо этого, оптимальное количество избыточного воздуха меняется во время работы горелки в зависимости от количества кислорода, необходимого для идеального окисления топлива.

Поэтому точное количество воздуха, которое необходимо подать на горелку, зависит от количества кислорода, содержащегося в воздухе, и от свойств используемого в данный момент топлива. В частности, количество воздуха зависит от следующих параметров:

- Температура воздуха, участвующего в горении, увеличение температуры воздуха на $10\text{ }^\circ\text{C}$ соответствует уменьшению плотности воздуха на 3%, а содержание кислорода в воздухе уменьшается приблизительно на 0,6%;
- Атмосферное давление воздуха, при уменьшении атмосферного давления на 10 мбар плотность воздуха уменьшается примерно на 1% и, следовательно, содержание кислорода в воздухе снижается примерно на 0,2%;

- Теплота сгорания топлива: при увеличении теплоты сгорания топлива на 5%, потребность в кислороде увеличивается на 1%;
- Расход, температура и давление топлива;
- Тяга в дымоходе и аэродинамическое сопротивление в камере сгорания;
- Температура распыления.

Снижение температуры дымовых газов

Наибольшими из потерь в котельном агрегате, как правило, являются потери теплоты с уходящими газами:

$$q_2 = (I_{yx} - \alpha_{yx} I_{yx}^0) / Q_p (100 - q_4), \% \quad (11)$$

где: I_{yx} и I_{yx}^0 – соответственно, энтальпия уходящих газов и теоретического количества холодного воздуха; α_{yx} – коэффициент избытка воздуха в уходящих газах.

Одним из вариантов сокращения потерь тепловой энергии в процессе сгорания является снижение температуры дымовых газов, выбрасываемых в атмосферу. Это может быть достигнуто посредством [5 – 7]:

- подбора оптимальных размеров и других характеристик оборудования исходя из требуемой максимальной мощности с учетом расчетного запаса надежности;
- интенсификации передачи тепла технологическому процессу посредством увеличения удельного потока тепла (в частности, при помощи завихрителей – турбулизаторов, увеличивающих турбулентность потоков рабочего тела) [8], увеличения площади или усовершенствования поверхностей теплообмена;
- рекуперации тепла дымовых газов с использованием дополнительного технологического процесса (например, производства пара при помощи экономайзера [5]);
- установки подогревателя воздуха или воды, или организации предварительного подогрева топлива за счет тепла дымовых газов. Следует отметить, что подогрев воздуха может быть необходим, если технологический процесс требует высокой температуры пламени (например, в стекольном или цементном производстве). Подогретая вода может использоваться для питания котла или в системах горячего водоснабжения (в т.ч. централизованного отопления);
- очистки поверхностей теплообмена от накапливающейся золы и частиц углерода с целью поддержания высокой теплопроводности. В частности, в конвекционной зоне могут периодически использоваться сажесдуватели. Очистка поверхностей теплообмена в зоне го-

рения, как правило, осуществляется во время остановки оборудования для осмотра и ТО, однако в некоторых случаях используется очистка без остановки (например, в нагревателях на НПЗ);

- обеспечение уровня производства тепла, соответствующего существующим потребностям (не превышающего их). Тепловую мощность котла можно регулировать, например, посредством подбора оптимальной пропускной способности форсунок для жидкого топлива или оптимального давления, под которым подается газообразное топливо.

Для расчета потерь тепла с дымовыми газами широко используется формула Зигерта [7]:

$$W_d = Q_2 / Q_1 = q_2 / q_1 = c - (T_d - T_e) / \%CO_2 \quad (12)$$

где: W_d – потери тепла с дымовыми газами (в процентах от общей теплоты сгорания топлива); c – коэффициент Зигерта (табл. 1); T_d – измеренная температура дымовых газов, °С; T_e – измеренная температура поступающего воздуха, °С; $\%CO_2$ – измеренная концентрация CO_2 в дымовых газах, %.

Таблица 2 – Коэффициент Зигерта [7]

Тип топлива	Коэффициент Зигерта
Антрацит	$0,6459 + 0,0000220 \cdot T_d + 0,00473 \cdot \%CO_2$
Тяжёлое топливо	$0,5374 + 0,0000181 \cdot T_d + 0,00717 \cdot \%CO_2$
Жидкое нефтяное топливо	$0,5374 + 0,0000171 \cdot T_d + 0,00774 \cdot \%CO_2$
Природный газ (НТС)	$0,385 + 0,00870 \cdot \%CO_2$
Природный газ (ВТС)	$0,390 + 0,00860 \cdot \%CO_2$

Рассмотрим пример. Дымовые газы парового котла, использующего высококачественный природный газ, имеют следующие характеристики: $T_d = 240$ °С и $\%CO_2 = 9,8$ %. С целью повышения энергоэффективности воздухозаборник, ранее находившийся снаружи котельной, переносится под потолок помещения.

Пусть средняя температура наружного воздуха в отопительный период составляет -5 °С, а среднегодовая температура воздуха под потолком котельной равна $+30$ °С.

Коэффициент Зигерта в данном случае составляет:

$$c = 0,390 + 0,00860 \cdot 9,8 = 0,4743.$$

До переноса воздухозаборника потери тепла с дымовыми газами составляли: $W_D = 0,4743 \cdot (240 + 5) / 9,8 = 11,86 \%$.

После переноса воздухозаборника потери тепла с дымовыми газами составляют: $W_D = 0,4743 \cdot (240 - 30) / 9,8 = 10,2 \%$.

Это соответствует повышению КПД системы сжигания на 1,66% в результате простого мероприятия – переноса воздухозаборника.

Для котла мощностью 15 МВт может быть достигнуто энергосбережение в объеме более 4-х ГВт·ч/год, экономический эффект в размере более 5 млн руб/год (при тарифе 1280 руб/ГВт), а также снижение выбросов CO₂ на 800 т/год.

Наилучшей доступной технологией (НДТ) [7] подогрева входящего в топку котла воздуха является технология, обеспечивающая его подогрев теплом уходящих дымовых газов. Пределы подогрева определяются возможными температурами максимального нагрева воздуха, допустимого охлаждения дымовых газов и конструкцией топочного устройства.

Например, подогрев воздуха в слоевых топочных устройствах во избежание повреждения их конструкций не превышает 200 ÷ 250 °С и для некоторых сортов топлива, сжигаемых в этих топках, вообще не нужен. Подогрев воздуха для твердых топлив, сжигаемых в камерных топках, доходит до 350 ÷ 450 °С. Следует иметь в виду, что дымовые газы из-за их большей теплоемкости и количества по сравнению с воздухом охлаждаются медленней, чем нагревается воздух. При охлаждении дымовых газов на 1,0 °С воздух нагревается на 1,2 ÷ 1,5 °С, что уменьшает величину температурного напора.

Применения данного метода наиболее эффективно в высокотемпературных отопительных системах, например системах с теплогенераторами на диатермическом масле. Действительно, в таких случаях теплоноситель подогревается до температуры более 300 °С, и, следовательно, дымовые газы имеют достаточно высокую температуру на выходе из теплогенератора. Как правило, воздух, участвующий в горении, подогревают до температуры приблизительно 150 °С. При современном уровне эксплуатации котельных температура выбрасываемых газов ограничивается по соображениям возможной конденсации влаги в дымовой трубе. При конденсации резко возрастают коррозионные процессы в связи с высокой агрессивностью конденсата, причем для серосодержащих топлив температура точки росы составляет 120 ÷ 130 °С. Следовательно, повышение эффективности утилизации теплоты дымовыми газами в значительной степени зависит от тех-

нического уровня применяемого оборудования, в частности, применения антикоррозионных материалов.

Возврат тепла осуществляется за счёт теплообмена между воздухом и дымовыми газами, который обеспечивается в специальном теплообменнике (воздухоподогревателе), установленном внутри дымохода. Количество полученной теплоты пропорционально массовому расходу воздуха, участвующему в процессе теплообмена, то есть, проходящего через воздухоподогреватель. В среднем, с помощью этого метода КПД теплогенератора вырастет на 8%.

Для эффективной работы газового теплогенератора необходимо увеличивать теплопередающую способность потоков. В связи с ограниченностью габаритных размеров устройства наиболее рациональным решением является интенсификация теплопередающей способности за счет увеличения теплопередающей площади (рис.8 а) и турбулизации потока (рис.8 б), а также путем увеличения теплового напора. При этом рекомендуется устанавливать воздухоподогреватель таким образом, чтобы нагреваемый воздух двигался навстречу дымовым газам либо омывал поверхность теплообмена под разными углами. Эффективность теплообмена в этом случае возрастает [8].

В случае применения турбулизатора-теплообменника интенсификация передачи тепла дымовых газов через стенку производится за счет винтового оребрения на стороне движения воздушного потока. Что позволяет увеличить площадь теплообмена и повышение теплопередающей характеристики за счет закручивания потока. При этом необходимо учитывать условие возникновения дополнительного сопротивления, соотношение коэффициента сопротивления к гладкой трубе не должно превышать увеличения теплоотдачи относительно гладкой трубы.

Тепловые потери с уходящими газами можно определить по формуле:

$$q_{yx} = V_{yx} C_{P_{yx}} t_{yx}, \quad (13)$$

где: V_{yx} – объем уходящих газов, м³; $C_{P_{yx}}$ – объемная теплоемкость уходящих газов, кДж/(м³К); t_{yx} – температура уходящих газов, °С.

тепла, необходимое для нагревания единицы массы вещества на 1 °С. За единицу массы вещества в технических расчетах принимают 1 кмоль, 1 кг и 1 м³ при нормальных условиях (для газов). В соответствии с этим различают теплоемкость мольную, массовую и объемную. Массовая теплоемкость C равна

мольной μ_c , делённой на молекулярный вес данного вещества M . Объемная теплоемкость C_p газа равна мольной теплоемкости, деленной на объем 1 моля идеального газа в кубометрах при нормальных условиях, т. е. на 22,41. Следовательно, мольная, массовая и объемная теплоемкости газов связаны уравнением:

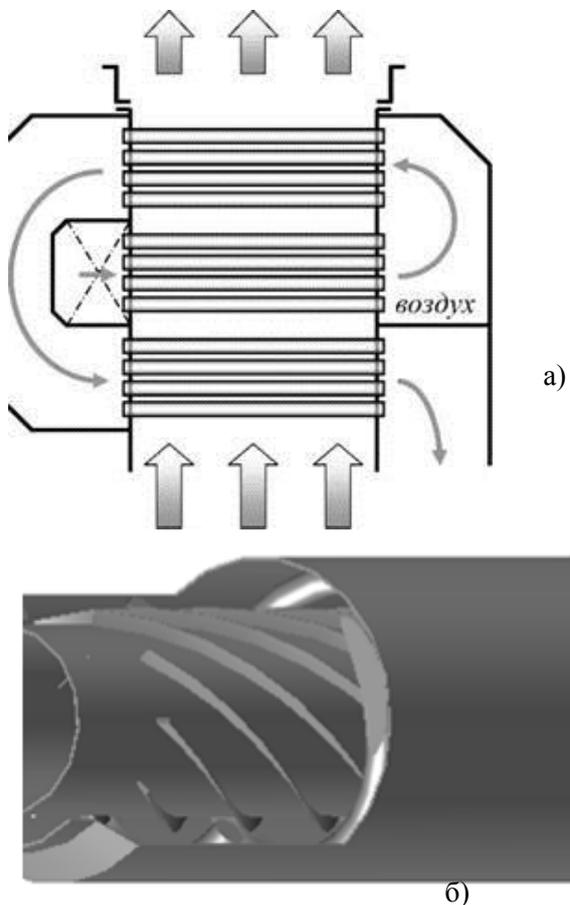


Рисунок 8 – Схема утилизации тепла дымовых газов: а) – пластинчатый теплообменник; б) – турбулизатор-теплообменник.

Теплоемкостью называется количество $\mu_c = C \cdot M = C_p \cdot 22,41$. (14)

Отсюда объемная теплоемкость газообразных продуктов сгорания топлива:

$$C_p := C \cdot M / 22,41. \quad (15)$$

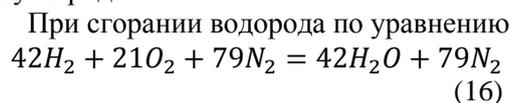
Теплоемкость газа зависит от того, в каких условиях осуществляется его нагревание (или охлаждение) – при постоянном давлении или при постоянном объеме. При нагревании газа при постоянном давлении затрачивается энергия на расширение газа. Вследствие этого теплоемкость при постоянном давлении больше теплоемкости при постоянном объеме.

Подсчитывая эффективность использования топлива в печах и котлах, обычно используют значения теплоемкости при постоян-

ном давлении. Средняя теплоемкость – количество теплоты, необходимое для изменения температуры единицы массы (или объема) вещества на 1 град в заданном температурном интервале.

Теплоемкость возрастает с повышением температуры, поэтому при нагреве воздуха или топлива от температуры t_1 до температуры t_2 истинная теплоемкость при температуре t_2 больше истинной теплоемкости при температуре t_1 , а средняя теплоемкость от t_1 до t_2 больше истинной теплоемкости при температуре t_1 , но меньше истинной теплоемкости при температуре t_2 . При определении эффективности использования топлива и подсчетах располагаемого тепла продуктов сгорания обычно применяют средние теплоемкости.

При сгорании антрацита, тощих каменных углей и других видов топлива с высоким содержанием углерода образуются продукты сгорания, близкие по составу к продуктам сгорания углерода.



на каждый объем H_2O приходится $79/42 = 1,88$ объема азота.

В продуктах сгорания природного, сжиженного и коксового газов, жидкого топлива, дров, торфа, бурого угля, длиннопламенного и газового каменного угля и других видов топлива со значительным содержанием водорода в горючей массе образуется большое количество водяного пара, иногда превышающее объем CO_2 . Присутствие влаги в топливе, естественно, повышает содержание водяного пара в продуктах сгорания.

Поскольку содержание CO_2 в десятки раз превышает содержание SO_2 , а объемные теплоемкости их мало различаются, при подсчете теплоемкости продуктов сгорания обычно исходят из содержания в них RO_2 , т. е. суммы CO_2 и SO_2 , принимая теплоемкость RO_2 равной теплоемкости CO_2 .

В соответствии с этим теплоемкость продуктов сгорания равна:

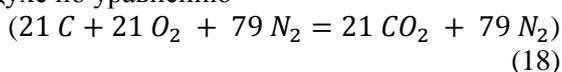
$$C = 0,01(C_{\text{CO}_2}\text{RO}_2 + C_{\text{H}_2\text{O}}\text{H}_2\text{O} + C_{\text{N}_2}\text{N}_2), \\ \text{ккал}/(\text{м}^3 \cdot ^\circ\text{C}). \quad (17)$$

Колебания в теплоемкости у продуктов сгорания различных видов топлива сравнительно невелики. У твердого топлива с высоким содержанием влаги (дрова, торф, бурый уголь и т. д.) теплоемкость продуктов сгорания в том же температурном интервале выше, чем у топлива с малым содержанием влаги (антрацита, каменных углей, мазута, природного газа и

т. д.). Это объясняется тем, что при сгорании топлива с высоким содержанием влаги в продуктах сгорания повышается содержание водяного пара, обладающего более высокой теплоемкостью по сравнению с двухатомным газом – азотом.

Увеличение содержания влаги в топливе повышает теплоемкость продуктов сгорания вследствие повышения содержания в них водяного пара в том же температурном интервале, по сравнению с теплоемкостью продуктов сгорания топлива с меньшим содержанием влаги, и одновременно с этим понижает температуру горения топлива вследствие увеличения объема продуктов сгорания за счет водяного пара.

При сгорании углерода топлива в воздухе по уравнению



на каждый объем CO_2 в продуктах сгорания приходится $79/21 = 3,76$ объема N_2 .

Энтальпия воздуха и продуктов сгорания 1 кг твердого, жидкого или 1 м³ газообразного топлива определяется по сумме энтальпий газообразных продуктов сгорания, входящих в состав дымовых газов.

Энтальпия воздуха, $кДж/м^3$ (при коэффициенте избытка воздуха α),

$$i_{вз} = \alpha \cdot V_{вз} \cdot C_{вз} \cdot t_{вз}, \quad (19)$$

где $C_{вз}$ – теплоемкость воздуха, $кДж/(м^3К)$, при его температуре $t_{вз}$, °С; $V_{вз}$ – теоретический объем воздуха.

Энтальпия газообразных продуктов сгорания, $кДж/м^3$ (при $\alpha = 1$),

$$i_{г(\alpha=1)} = (V_{RO_2} C_{CO_2} + V_{N_2} C_{N_2} + V_{H_2O} C_{H_2O}) t_{г}. \quad (20)$$

где C_{CO_2} , C_{N_2} , C_{H_2O} – средние объемные теплоемкости двуокиси углерода, азота и водяных паров при постоянном давлении и температуре, $кДж/(м^3К)$.

Энтальпия дымовых газов, $кДж/м^3$, при $\alpha > 1$

$$i_{г} = i_{г(\alpha=1)} + (\alpha - 1) V_{вз} \cdot C_{вз} \cdot t_{г}. \quad (21)$$

Теплоемкость газов изменяется в зависимости от их температуры. Средние объемные значения теплоемкости для воздуха и компонент дымовых газов приведены в таблице 2.10 [5, стр.82].

Например, требуется определить энтальпию уходящих дымовых газов при температуре 200°С и коэффициенте избытка воздуха за котлом $\alpha_{yx} = 1,4$ для топлива, с составом ($C_p = 52,1\%$; $H_p = 3,8\%$; $S_p^l = 2,9\%$; $N_p = 1,1\%$; $O_p = 9,1\%$).

Определим теоретическое количество воздуха, необходимое для сгорания топлива данного состава:

$$V^0 = 0,0889(C_p + 0,375S_p^l) + 0,265H_p - 0,033O_p = 0,0889(52,1 + 0,375 \cdot 2,9) + 0,265 \cdot 3,8 - 0,033 \cdot 9,1 = 5,03 \text{ м}^3/\text{кг}.$$

Подставляя данные из примера в формулы (2.7), (2.9) и (2.10) [5, стр.22,23] получим

- объем трехатомных газов V_{RO_2} :

$$V_{RO_2} = 1,866 C_p + 0,375 S_p^l / 100 = 1,866 \cdot 52,1 + 0,375 \cdot 2,9 / 100 = 0,99 \text{ м}^3/\text{кг};$$

- теоретический объем водяных паров без учета расхода пара на форсунки

$$V^0_{H_2O} = 0,111 H_p + 0,0124 W_p + 0,0161 V^0 = 0,111 \cdot 3,8 + 0,0124 \cdot 9,1 + 0,0161 \cdot 5,03 = 0,62 \text{ м}^3/\text{кг};$$

- теоретический объем азота

$$V_{N_2} = 0,79 V^0 + 0,8 N_p / 100 = 0,79 \cdot 9,08 + 0,8 \cdot 1,1 / 100 = 3,98 \text{ м}^3/\text{кг};$$

Пользуясь таблицей 2.7 [5, стр.62], определяющей НТС компонент по формуле (20), получим (при $\alpha = 1$): $i_{г(\alpha=1)} =$

$$(V_{RO_2} C_{CO_2} + V_{N_2} C_{N_2} + V_{H_2O} C_{H_2O}) t_{г} = (0,99 \cdot 1,789 + 3,98 \cdot 1,308 + 0,62 \cdot 1,523) \cdot 200 = 1584 \text{ кДж/кг}, \text{ или } i_{г(\alpha=1)} = (0,99 \cdot 0,4269 + 4 + 3,98 \cdot 0,3122 + 0,62 \cdot 0,3636) \cdot 200 = 378 \text{ ккал/кг}.$$

Энтальпия газов при $\alpha = 1,4$ будет равна

$$i_{г} = i_{г(\alpha=1)} + (\alpha - 1) V_{вз} \cdot C_{вз} \cdot t_{г} = 1584 + (1,4 - 1) \cdot 5,03 \cdot 1,308 \cdot 200 = 2110 \text{ кДж/кг}, \text{ или } i_{г} = 378 + (1,4 - 1) \cdot 5,03 \cdot 0,3122 \cdot 200 = 503 \text{ ккал/кг}.$$

Тепловые потери с уходящими газами могут составлять 60÷75 %. Средняя температура уходящих газов в печах достигает 500÷1350 °С, в сушильных установках – 150÷450 °С.

Экономия топлива может быть определена по следующей формуле (в процентах по отношению к расходу топлива при работе без подогрева воздуха):

$$\eta = \eta \cdot 100 \frac{i_2 / i_1}{[1 - i_2 / i_1 (1 - \mu)]}, \quad (22)$$

где: i_1 – энтальпия дымовых газов в топке (может быть получена путем деления теплоты сгорания топлива на объем дымовых газов, получающихся при сжигании 1 кг жидкого топлива или – 1 м³ газа), $кДж/м^3$; i_2 – энтальпия дымовых газов на выходе из печи, $кДж/м^3$; η – отношение энтальпии подогретого воздуха к энтальпии уходящих из печи дымовых газов (степень рекуперации тепловой энергии):

$$\mu = \frac{V_{вз}}{V_{yx}} \cdot \frac{i_{вз}}{i_{yx}} \quad (23)$$

здесь $V_{вз}$ и V_{yx} – соответственно объем воздуха и дымовых газов, приходящихся на 1 кг жидкого или на 1 м³ газового топлива; $i_{в}$ и i_{yx} – соответственно энтальпия нагретого воздуха, поступающего в печь, и энтальпия дымовых газов, покидающих ее:

$$V_{yx} = V_{yx}^0 + V_{вз}^0(\alpha - 1) \quad (24)$$

здесь $V_{вз}^0(\alpha - 1)$ и V_{yx}^0 – теоретические объемы воздуха и дымовых газов (при $\alpha = 1$), м³.

Экономия топлива

$$\Delta = i_{вз} / (Q_H^p + i_{вз} - i_{yx}) \quad (25)$$

где: Q_H^p – теплота сгорания топлива, кДж/кг, кДж/м³; $i_{вз}$ – энтальпия подогретого воздуха, отнесенная к единице объема или массы топлива, кДж/м³, кДж/кг; i_{yx} – энтальпия уходящих дымовых газов, кДж/м³.

Как правило, потери тепла с уходящими дымовыми газами определяются в ккал/ч в соответствии с температурой и составом дымовых газов, например, по формуле:

$$Q = (V_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{N_2} \cdot C_{N_2} + V_{O_2} \cdot C_{O_2}) \cdot t_{\delta}, \text{ ккал/ч, где: } V_{CO_2}, V_{H_2O}, V_{N_2}, V_{O_2} - \text{объемные расходы продуктов сгорания } CO_2, H_2O, N_2, O_2, \text{ м}^3/\text{ч}; C_{H_2O}, C_{N_2}, C_{O_2} - \text{средние удельные теплоемкости продуктов сгорания } CO_2, H_2O, N_2 \text{ и } O_2, \text{ ккал/м}^3; t_{\delta} - \text{температура уходящих газов, } ^\circ\text{C}.$$

Рассмотрим пример, где топливосжигающая установка выбрасывает в атмосферу дымовые газы с температурой $t_{д} = 240^\circ\text{C}$, в следующем составе: $V_{CO_2} = 27171 \text{ м}^3/\text{ч}$; $V_{H_2O} = 62833 \text{ м}^3/\text{ч}$; $V_{N_2} = 253376 \text{ м}^3/\text{ч}$; $V_{O_2} = 11158 \text{ м}^3/\text{ч}$. Средние удельные теплоемкости компонент состава газа при этом составляют: $C_{CO_2} = 0,404$; $C_{H_2O} = 0,366$; $C_{N_2} = 0,311$; $C_{O_2} = 0,321$ ккал/(м³К), соответственно.

Тогда имеем: $Q_{\delta} = (27171 \cdot 0,434 + 62833 \cdot 0,366 + 253376 \cdot 0,311 + 11158 \cdot 0,321) \cdot 240 = 28121040$ ккал/ч $\approx 28,12$ Гкал/ч.

После установки подогревателя температура уходящих дымовых газов снизилась до $t_{\delta} = 120^\circ\text{C}$. Потеря тепла с уходящими дымовыми газами после воздухоподогревателя при $t_{\delta} = 120^\circ\text{C}$ с учетом изменения теплоемкостей компонент состава газов составит:

$$Q_{\delta}^{BB} = (27171 \cdot 0,410 + 61833 \cdot 0,361 + 253376 \cdot 0,309 + 11158 \cdot 0,316) \cdot 120 = 13877040 \text{ ккал/ч} \approx 13,88 \text{ Гкал/ч}.$$

Тепловая энергия дымовых газов, направленных на подогрев воздуха в воздухоподогревателе

$$Q^B = Q_{\delta} - Q_{\delta}^{BB} = 28121040 -$$

$$13877040 = 14244000 \text{ ккал/ч} \approx 14,244 \text{ Гкал/ч}.$$

Тепловая энергия, полезно используемая в воздухоподогревателе

$Q_n^B = Q^B \cdot K$, ккал/час, где K – коэффициент полезного действия воздухоподогревателя, равный 0,9.

$$Q_n^B = 14244000 \cdot 0,9 = 12819600 \text{ ккал/ч} \approx 12,82 \text{ Гкал/ч}.$$

Максимальная температура воздуха $t_{г}^B$ после воздухоподогревателя определяется по формуле:

$$t_2^B = Q_n^B / (V_{\phi} \cdot c_{\phi} + t_n), \quad (26)$$

где, Q_n^B – тепловая энергия, полезно используемая в воздухоподогревателе, ккал/ч; V_{ϕ} – фактический расход воздуха, м³/К; c_{ϕ} – средняя объемная удельная теплоемкость воздуха, ккал/м³; t_n – температура наружного воздуха равная, например 30°C , тогда $t_2^B = 12819600 / (318880 \cdot 0,312 + 30) = 158,9^\circ\text{C}$.

Часовая экономия природного газа определяется по формуле

$$V_{нг} = Q_n^B / Q_H = 12819600 / 8200 = 1563,4 \text{ ч}.$$

Годовая экономия природного газа составит: $1563,4 \cdot 24 \cdot 330 = 12382128$ м³/ч.

Конденсация пара

В настоящее время температуру уходящих дымовых газов за котлом принимают не ниже $120 \div 130^\circ\text{C}$ по двум причинам: для исключения конденсации водяных паров на боровах, газоходах и дымовых трубах и для увеличения естественной тяги, снижающей напор дымососа. При этом теплоту уходящих газов и скрытую теплоту парообразования водяных паров можно полезно использовать. Использование теплоты уходящих дымовых газов и скрытой теплоты парообразования водяных паров называется методом глубокой утилизации теплоты дымовых газов. Существуют различные технологии реализации данного метода, апробированные в Российской Федерации и нашедшие массовое применение за рубежом. Метод глубокой утилизации теплоты дымовых газов позволяет увеличить КПД топливопотребляющей установки на 2÷3%, что соответствует снижению расхода топлива на 4÷5 кг у.т. на 1 Гкал выработанного тепла.

На сегодняшний день подавляющее большинство водогрейных и паровых котельных агрегатов в нашей стране, сжигающих природный газ, не оснащены установками, использующими скрытую теплоту парообразова-

ния водяных паров. Это тепло теряется вместе с уходящими газами.

В настоящее время применяются методы глубокой утилизации тепла уходящих газов (ВЭР) путем использования рекуперативных, смесительных, комбинированных аппаратов, работающих при различных приемах использования теплоты, содержащейся в уходящих газах.

Наиболее часто используемый метод глубокой утилизации тепла дымовых газов заключается в том, что продукты сгорания природного газа после котла (либо после водяного экономайзера) с температурой $130 \div 150^\circ\text{C}$ разделяются на два потока. Приблизительно $70 \div 80\%$ газов направляются по главному газоходу и поступают в конденсационный теплоутилизатор поверхностного типа, остальная часть газов направляется в байпасный газоход. В теплоутилизаторе продукты сгорания охлаждаются до $40 \div 50^\circ\text{C}$, при этом происходит конденсация части водяных паров, что позволяет полезно использовать как физическую теплоту дымовых газов, так и скрытую теплоту конденсации части содержащихся в них водяных паров. Охлажденные продукты сгорания после каплеотделителя смешиваются с проходящими по байпасному газоходу неохлажденными продуктами сгорания и при температуре $65 \div 70^\circ\text{C}$ отводятся дымососом через дымовую трубу в атмосферу. В качестве нагреваемой среды в теплоутилизаторе может использоваться исходная вода для нужд химводоподготовки или воздух, поступающий затем на горение. Для интенсификации теплообмена в теплоутилизаторе возможна подача выпара атмосферного деаэратора в основной газоход. Необходимо также отметить возможность использования сконденсированных обессоленных водяных паров в качестве исходной воды. Результатом внедрения данного метода, является повышение КПД котла брутто на $2 \div 3\%$, с учетом использования скрытой теплоты парообразования водяных паров.

Рассмотрим следующий пример. Пусть топливосжигающая установка обеспечивает конденсацию пара, находящегося в дымовых газах, например, за счет их охлаждения до температуры – ниже температуры конденсации в некоем вторичном теплообменнике (рис.9). Водяной пар образуется при сгорании топлива в результате реакции с кислородом воздуха.

Центральным элементом каждого котла является теплообменник. В конденсационных котлах их два (рис.9).

Первичный функционирует так же, как и теплообменник традиционного котла. Прохо-

дящие через него продукты сгорания отдают основную часть своей энергии теплоносителю и всё ещё горячие следуют дальше. После этого к работе подключается вторичный теплообменник, называемый ещё конденсационным.

Для увеличения площади контакта пара с поверхностью вторичного теплообменника и повышения эффективности работы котла теплообменник выполнен в виде труб сложного сечения с дополнительными спиралевидными ребрами. Отходящие газы в этом теплообменнике охлаждаются обратной водой системы отопления до температуры ниже точки росы, одновременно нагревая теплоноситель. Чем ниже температура воды в обратном контуре, тем более полно происходит конденсация водяного пара, а значит, выше КПД котла и большая часть тепла будет возвращаться в систему.

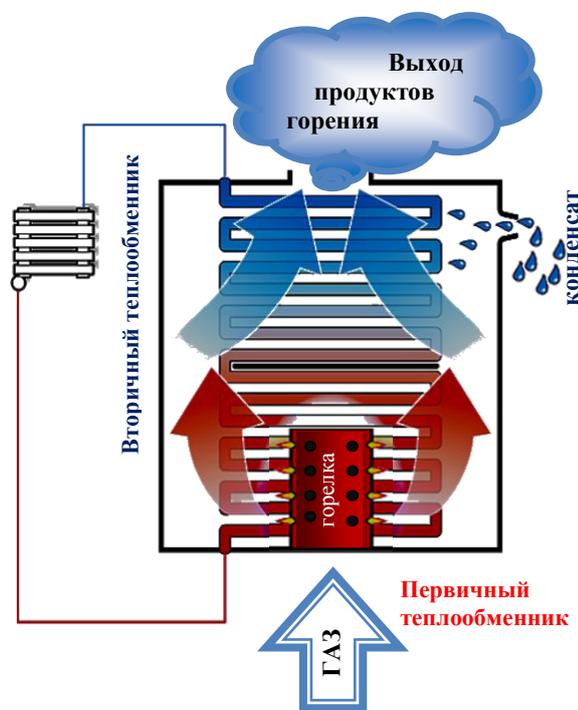


Рисунок 9 – Схема конденсационного котла

Таким образом, в конденсационных котлах фактически происходит рекуперация, то есть возвращение части израсходованной в результате сгорания топлива энергии, высвобождающейся при конденсации водяного пара, для повторного использования. В традиционных котлах эта энергия улетучивается вместе с паром.

Кроме того, в конденсационных котлах используются высокотехнологичные горелки, которые обеспечивают непрерывный контроль соотношения газ/воздух, то есть оптимальные

пропорции топливно-воздушной смеси в любом режиме горения.

Поэтому при равнозначных условиях отопления экономичность конденсационного котла примерно на 15÷20% выше обычного. Плюс выбросы в атмосферу вредных соединений сокращаются до 70%.

Поэтому конденсационные котлы наиболее рентабельны в низкотемпературных системах отопления, водяных тёплых полов с соотношением температуры исходящей и возвращаемой в котёл воды от +50 до +30° С. В сильные морозы, когда возвращаемая в котёл вода имеет температуру около 60°С, конденсации водяных паров не происходит и котёл работает по традиционной схеме.

В центральных регионах РФ отопительный сезон длится около 200 дней в году. Температура наружного воздуха ниже -22 ÷ -25 °С

обычно держится на протяжении не более 10 ÷ 25% этого периода по отношению к различным регионам страны. Всё остальное время конденсационный котёл будет работать, потребляя примерно на 15% меньше топлива, чем современные традиционные котлы.

Поскольку удельная теплота парообразования и конденсации воды $r=2256$ кДж/кг, находящейся в дымовых газах, будет возвращена, например, в систему отопления, то если рассчитывать КПД стандартного отопительного котла, при условии определения теплоты из нижней теплоты сгорания топлива (рис. 10), – получим максимальный КПД конденсационного котла 108 % , т.е. превышающий 100%. При этом учтено, что за счет конденсации пара в дымовых газах получено 15% дополнительной теплоты.

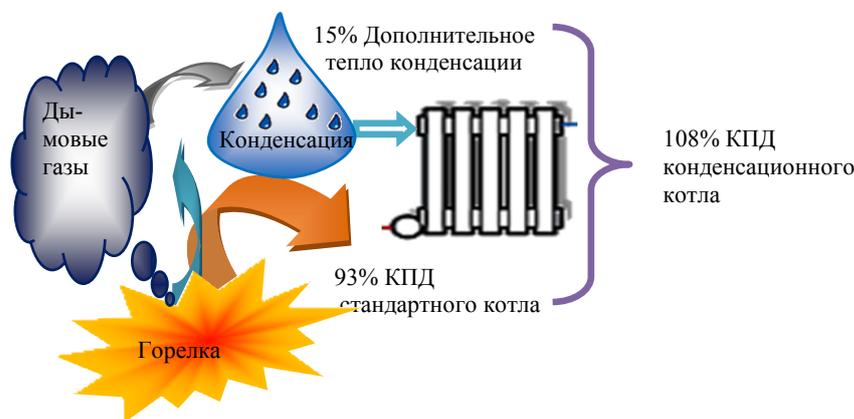


Рисунок 10– Схема расчета КПД конденсационного котла

Если же провести расчёт по высшей теплоте сгорания, картина изменится, и мы получим более привычные с физической точки зрения результаты КПД: традиционные котлы 72 ÷ 75%, конденсационные 90 ÷ 95%. То есть конденсационные котлы всё равно выигрывают в эффективности не менее чем на 15%.

Литература

1. Энергетическая стратегия России до 2030 г. (утв. Распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года N 1715-р).
2. ФЗ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
3. Госпрограмма РФ «Энергосбережение и повышение э/э на период до 2020 года» (утв. распоряжением Правительства РФ от 27 декабря 2010 г. № 2446-р).

4. Госпрограмма РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики», (утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 512-р).
5. Лепеш Г.В. Техника и технология жизнеобеспечения зданий и сооружений / Г.В. Лепеш. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 330 с.
6. Лепеш, Г.В. Энергосбережение в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений / Г.В. Лепеш. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 437 с.
7. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. – 2009/ [Электронный ресурс]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/60d/energo_1303.pdf (дата обращения 05.09.15).
8. Лепеш Г.В., Лунева С.К. Повышение эффективности теплообменных аппаратов. // Технико-технологические проблемы сервиса./ 2017.- №1(39). С. 42-57.

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

А.Г. Лепеш¹, Т.В. Потемкина²

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21*

В статье проведена оценка эффективности использования электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности. Рассмотрены способы и методы компенсации с учетом исключения резонансных явлений в сети.

Ключевые слова: коэффициент мощности, конденсаторная батарея, резонанс, активная и реактивная мощность.

INCREASE IN EFFICIENCY OF USE OF THE ELECTRIC POWER

A.G. Lepesh, T.V. Potemkina

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21*

In article questions of improvement of quality of the electric power by compensating of reactive power and a resonance in a circuit are considered.

Keywords: losses of the electric power, the active and reactive power, electrical power factor, capacitor batteries, resonance.

Проблема повышения эффективного и рационального расходования ресурсов требует комплексного подхода к управлению энергосбережением и энергоэффективностью, основными составляющими которых являются энергоменеджмент, энергоаудит и мониторинг [1,2]. Основные нормы энергосбережения и энергоэффективности установлены ГОСТ 32144-2013 «Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения», который введен в России взамен ГОСТ 13109-97 с 1.07.2014г. [3,4]. Стандарт ГОСТ Р 51317.3.3-99 устанавливает нормы изменений напряжения, которые могут быть созданы техническими средствами (ТС) при испытаниях в регламентированных условиях, и содержит указания по методам оценки.

На уровень энергоэффективности способны повлиять качество электроснабжения и способ использования энергии. Механизмы этого влияния не всегда осознаются; часто им не уделяется должного внимания. Во многих случаях имеют место потери, связанные с передачей избыточной мощности по внешним распределительным сетям или в пределах установок. Потери энергии в распределительной си-

стеме зданий и сооружений могут приводить к перепадам напряжения, которые, в свою очередь, могут вызывать преждевременный выход из строя электронной техники, электродвигателей или другого оборудования. Принято считать, что относительные потери электроэнергии при ее передаче и распределении в электрических сетях большинства стран можно считать удовлетворительными, если они не превышают 4÷5 %. Потери электроэнергии на уровне 10 % можно считать максимально допустимыми с точки зрения физики передачи электроэнергии по сетям. Кроме того, неоптимальное функционирование энергосистем предприятий способно привести к применению повышенных тарифов на электроэнергию.

Качество электроснабжения и условия использования энергии зависят от различных факторов, включая сопротивление электрических сетей, а также влияние некоторых видов оборудования и использования энергии на характеристики энергоснабжения [5]. В энергетических системах крайне желательны стабильность напряжения, а также отсутствие искажений формы волн [6].

¹Лепеш Алексей Григорьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения, СПбГЭУ, тел.: +7 904 510 5271, e-mail: alepesh@yandex.ru;

²Потемкина Татьяна Владимировна – старший преподаватель кафедры Машины и оборудование бытового и жилищно-коммунального назначения, СПбГЭУ, тел.: +7 905 256 0474, e-mail: tatatav@bk.ru

Многие широко распространенные виды электрического оборудования обладают не

только активным, но и индуктивным сопротивлением [7]. В качестве примеров можно назвать, в частности:

- однофазные и трехфазные электродвигатели переменного тока;
- приводы с переменной скоростью;
- трансформаторы;
- разрядные лампы высокой интенсивности.

При работе всех этих устройств потребляется как активная, так и реактивная электрическая мощность. Активная мощность преобразуется в полезную работу, в то время как реактивная мощность расходуется на создание электромагнитных полей. Реактивная мощность совершает периодические колебания между генератором и нагрузкой.

Конденсаторные батареи и подземные кабели также вносят вклад в формирование реактивной мощности.

Активная энергия, измеряемая в киловатт-часах (*кВт·ч*), которая преобразуется в механическую работу тепло, свет и т.д. «Реактивная» энергия принимает две формы:

1. «Реактивная» энергия, требуемая для индуктивных цепей (трансформаторы, двигатели и т.д.)

2. «Реактивная» энергия, генерируемая емкостными цепями (кабели, силовые конденсаторы и т.д.)

Все индукционные (т.е., электромагнитные) машины и устройства, работающие в составе систем переменного тока, преобразуют электрическую энергию от генераторов энергосистемы в механическую работу и тепло. Такая энергия измеряется счетчиками киловатт-часов (*кВт·ч*) и называется «активной» или ваттной энергией. Для осуществления такого преобразования необходимо образование магнитных полей в машинах, и эти поля связаны с другой формой энергии, обеспечиваемой энергосистемой, – «реактивной» или «безваттной» энергией.

Причина этого состоит в том, что индукционная цепь циклически поглощает энергию из системы (на создание магнитных полей) и отдает эту энергию обратно в систему (в течение спада магнитных полей) дважды за каждый цикл мощности-частоты. Точно такое же явление происходит при наличии параллельно включенных емкостных элементов в энергосистеме, таких как кабели или блоки силовых конденсаторов и т.д. В этом случае энергия запасается электростатически (заряд конденсатора). Циклическая зарядка и разрядка емкостной цепи оказывает на генераторы системы такое

же влияние, как описанное выше для индукционной цепи, но ток на емкостной цепи имеет фазу, противоположную фазе тока индукционной цепи. На этом основаны схемы повышения коэффициента мощности. Следует отметить, что хотя «безваттный» ток (точнее говоря, безваттная составляющая тока нагрузки) не забирает энергии из системы, он вызывает потери энергии в системах передачи и распределения энергии из-за нагрева проводников.

В реальных энергосистемах безваттные составляющие токов нагрузок неизменно индуктивны, а модули полного сопротивления систем передачи и распределения преимущественно индуктивно реактивны. Индуктивный ток через индуктивное реактивное сопротивление – наихудший возможный режим падения напряжения (т.е., прямая противофаза напряжению системы).

Поскольку большинство потребителей электроэнергии представляют собой электромагнитные механизмы, в которых переменный магнитный поток связан с обмотками, то вследствие этого в обмотках при протекании переменного тока индуцируются реактивные э.д.с., обуславливающие сдвиг по фазе (φ) между напряжением и током (рис. 1 а).

Этот сдвиг по фазе обычно увеличивается, а $\cos \varphi$ уменьшается при малой нагрузке. Например, если $\cos \varphi$ двигателей переменного тока при полной нагрузке составляет $0,75 \div 0,80$, то при малой нагрузке он уменьшится до $0,20 \div 0,40$. Малонагруженные трансформаторы также имеют низкий $\cos \varphi$. Поэтому, если не принять специальных мер, то результирующий $\cos \varphi$ энергетической системы будет низок и может уменьшиться до $0,50 \div 0,70$.

Коэффициент мощности или $\cos \varphi$ являющийся параметром, определяющим потребление реактивной мощности, называется POWER FACTOR.

С уменьшением $\cos \varphi$ ток нагрузки электрической станции и подстанции будет увеличиваться при одной и той же потребляемой из сети активной мощности. Соответственно, при компенсации реактивной мощности (применении автоматических конденсаторных установок КРМ) ток, потребляемый из сети, снижается в зависимости от $\cos \varphi$ на $30 \div 50\%$, соответственно, уменьшается нагрев кабельных и воздушных линий, повышается ресурс изоляции.

В таблице 1 приведены критерии оценки энергоэффективности энергопотребляющих установок по коэффициенту мощности.

В таблице 2 приведены коэффициенты мощности наиболее распространенного оборудования.

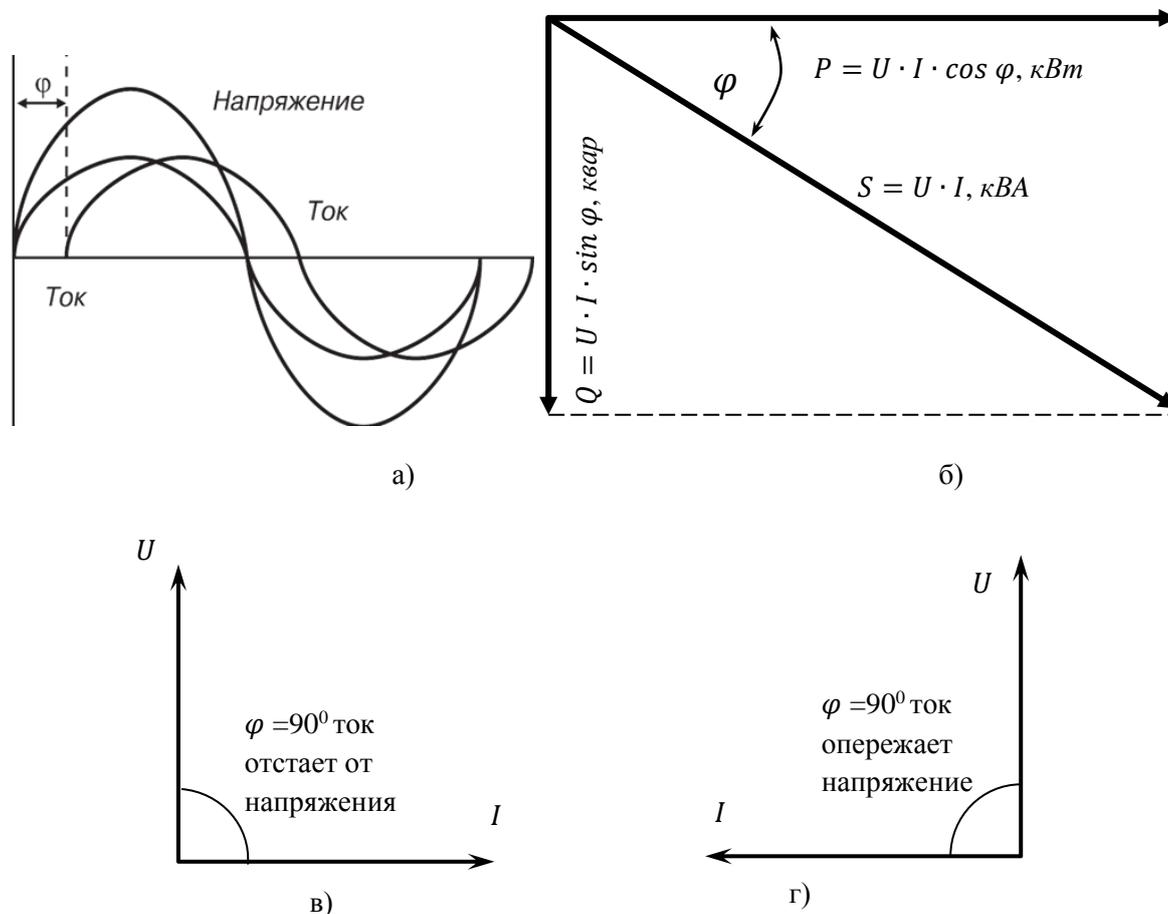


Рисунок 1 – Иллюстрация для пояснения реактивной мощности: а) – запаздывание тока в сети; б) – интерпретация соотношения активной и реактивной мощностей: P – активная мощность; Q – реактивная мощность; S – полная мощность; в) – индуктивная (двигательная) нагрузка; г) – емкостная (конденсаторная) нагрузка

Таблица 1 – Оценка энергоэффективности по коэффициенту мощности

Значение коэффициента мощности	Высокое	Хорошее	Удовлетворительное	Низкое	Не-удовлетворительное
$\cos \varphi$	0,95÷1,0	0,8÷0,95	0,65÷0,8	0,5÷0,65	0÷0,5

Электрические генераторы, трансформаторы и электрические сети рассчитываются на определенное напряжение и ток. Поэтому, например, при $\cos \varphi = 0,5$ и полной загрузке током трансформаторов и сетей мощность, передаваемая потребителям, будет составлять всего 50% от мощности, которая могла бы быть передана при $\cos \varphi = 1$. Будет иметь место нерациональное использование установленной мощности трансформаторов, а также электрических сетей.

Для повышения эффективности использования электрической энергии с целью минимизации потерь в условиях ограничений на максимальную потребляемую мощность большая роль отводится новым техническим средствам, позволяющим улучшить энергетические характеристики: повысить $\cos \varphi$ до заданных значений и уменьшить содержание гармоник в питающем напряжении.

Одним из мероприятий по компенсации реактивной мощности является подключение к устройству с постоянной нагрузкой компенси-

рующего конденсатора соответствующей мощности, включаемого одновременно устройством. В некоторых случаях рекомендуется использовать автоматические конденсаторные установки, способные настраиваться на необходимую нагрузку.

Компенсацию реактивной мощности в полной мере можно отнести к энергосберегающим технологиям. Повышение $\cos \varphi$ позволяет уменьшить потребление из сети реактивной энергии и увеличить за счет разгрузки по мощности срок службы оборудования.

Таблица 2 – Средние значения коэффициента мощности для наиболее распространенного оборудования [7]

Оборудование	при нагрузке	$\cos \varphi$	$\operatorname{tg} \varphi$
Стандартный асинхронный двигатель	0%	0,17	5,80
	25%	0,55	1,52
	50%	0,73	0,94
	75%	0,80	0,75
	100%	0,85	0,62
Лампы накаливания		1,0	0
Флуоресцентные лампы (без компенсации)		0,5	1,73
Флуоресцентные лампы (с компенсацией)		0,93	0,39
Газоразрядные лампы		0,4 ÷ 0,6	2,29 ÷ 1,33
Печи сопротивления		1,0	0
Печи индукционного нагрева (с компенсацией)		0,85	0,62
Диэлектрические электропечи		0,85	0,62
Резистивные паяльные аппараты		0,8 - 0,9	0,75 ÷ 0,48
Стационарные сварочные аппараты для дуговой сварки		0,5	1,73
Мотор-генераторная силовая установка дуговой сварки		0,7 ÷ 0,9	1,02 ÷ 0,48
Установка «трансформатор-выпрямитель» дуговой сварки		0,7 ÷ 0,8	1,02 ÷ 0,75
Электродуговая печь		0,8	0,75

В электрических цепях протекающий ток синфазен (не опережает и не запаздывает) с напряжением, если нагрузка имеет активный характер. Когда ток отстает от напряжения, нагрузка индуктивная (двигатели, трансформаторы на холостом ходу), когда ток опережает напряжение, нагрузка имеет емкостной характер (конденсаторы).

Суммарный ток, потребляемый энергетической установкой, потребляемой электроэнергию и производящей, например, механическую работу, определяется векторной суммой

$$I = I_a + I_p, \quad (1)$$

где: I_a – активный ток; I_p – реактивный ток индуктивного характера.

К этим токам привязаны мощности, потребляемые энергетическими установками.

Ток I , протекающий в системе, вычисляется по формуле:

$$I = P / \sqrt{3} U_{\text{л}} \cdot \cos \varphi \quad (2)$$

где: P – активная мощность; $U_{\text{л}}$ – падение напряжения.

Из этой формулы видно, что при одной и той же потребляемой мощности и увеличении $\cos \varphi$, происходит уменьшение величины протекающего тока и, следовательно, потерь в электрической сети и трансформаторе.

Полная мощность рассчитывается как геометрическая сумма активной и реактивной мощности, представленных взаимно перпендикулярными векторами (рис.3.48 б):

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2}, \quad (3)$$

где: P – активная мощность, kWatt , привязана к I_a ; Q – реактивная мощность, kVar , привязана к I_p ; S – полная мощность kVA , потребляемая двигателем.

Именно полная мощность определяет требования к генерирующим, сетевым и распределительным мощностям. Это означает, что генераторы, трансформаторы, линии электропередач, распределительное оборудование и т.д. должны быть рассчитаны на более высокую номинальную мощность, чем в том случае, если бы нагрузка потребляла только активную мощность. Повышение коэффициента мощности позволяет уменьшить номинальные значения мощности трансформаторов, распределительных устройств, кабелей и т.д., а также сократить потери мощности и ограничить падения напряжения.

Реактивная мощность не производит механической работы, хотя она и необходима для работы энергетической установки (например, электродвигателя), поэтому ее необходимо получать на месте, чтобы не потреблять ее от энергоснабжающей организации. Тем самым мы снижаем нагрузку на провода и кабели, повышаем напряжение на клеммах двигателя, снижаем платежи за реактивную мощность, имеем возможность подключить дополнитель-

ное оборудование за счет снижения тока, потребляемого с силового трансформатора.

На рисунке 2 показано относительное изменение полной и реактивной мощности, потребляемой из сети в зависимости от $\cos \varphi$. В этих графиках за единицу принято изменение активной мощности.

Если представить график относительно значения тока, протекающего по фазам, в зависимости от $\cos \varphi$, то, в относительных величинах этот график численно совпадает с графиком полной мощности, если на этом графике за единицу принять значение тока при чисто активной нагрузке.

Практический интерес представляет график, приведенный на рисунке 2 [8]. На этом графике показаны относительные активные потери в проводах в зависимости от $\cos \varphi$.

Потери в проводах и шинах пропорциональны квадрату протекающего через них тока. Из графика видно, что уже при $\cos \varphi = 0,7$ происходит удвоение потерь в линиях.

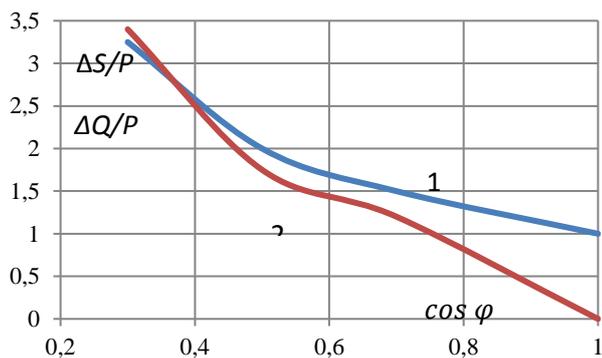


Рисунок 2 – Относительное изменение мощности, потребляемой из сети в зависимости от $\cos \varphi$: 1 – полной; 2 – реактивной

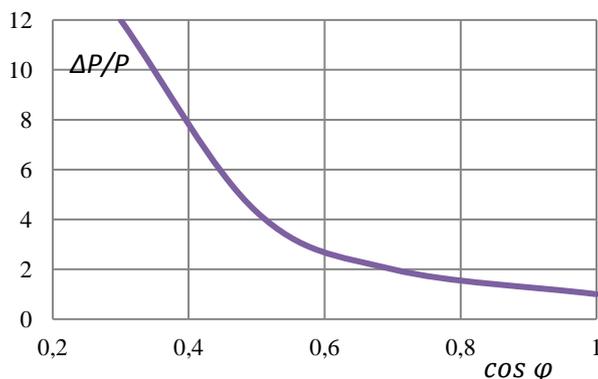


Рисунок 3 – Относительные активные потери в проводах в зависимости от $\cos \varphi$

При этом под линиями следует понимать не только провода и шины, но и обмотки трансформатора, в которых также происходит удвоение потерь.

Коэффициент мощности ($\cos \varphi$) есть отношение $\kappa Вт$ к $\kappa ВА$ (см. рис.1 б). Чем ближе коэффициент мощности приближается к своему максимальному значению 1, тем больше польза для потребителя и поставщика.

$$\cos \varphi = P/S \text{ (}\kappa Вт/\text{)}(\kappa ВА), \quad (4)$$

где: P – активная мощность; S – полная (кажущаяся) мощность.

Для однофазной цепи:

$$P = U \cdot I \cdot \cos \varphi, \text{ или } P = U_{\text{л}} \cdot I \cdot \cos \varphi \text{ } \kappa Вт; S = U \cdot I, \text{ или } S = U_{\text{л}} \cdot I, \text{ } \kappa ВА;$$

$$Q = U \cdot I \cdot \sin \varphi, \text{ или } Q = U_{\text{л}} \cdot I \cdot \sin \varphi, \text{ } \kappa ВАр, \dots\dots\dots (5)$$

где: $U_{\text{л}}$ – напряжение между фазой и нейтралью; U – междуфазное напряжение; I – ток; φ – угол между векторами напряжения и тока.

Для трехфазной цепи 3 провода или 3 провода + нейтраль:

$$P = 3U \cdot I \cdot \cos \varphi, \text{ } \kappa Вт; S = 3U \cdot I \text{ } \kappa ВА; Q = 3U \cdot I \cdot \sin \varphi, \text{ } \kappa ВАр. \quad (6)$$

Повышение коэффициента мощности нагрузки существующей системы энергоснабжения требует, как правило, установки блока конденсаторов, служащего в качестве источника реактивной энергии. Устройство обеспечивает компенсацию реактивной энергии

$$Q = P(\text{tg } \varphi_L - \text{tg } \varphi_c), \quad (7)$$

где φ_L и φ_c – углы между векторами напряжения и тока в случае индуктивной и емкостной нагрузки.

Индуктивная нагрузка, имеющая низкий коэффициент мощности, требует от генераторов и систем передачи/распределения пропускать реактивный ток (с отставанием от напряжения) с сопутствующим потерями мощности и повышенными падениями напряжениями. Если блок шунтирующих конденсаторов добавить к нагрузке, то его (емкостной) реактивный ток будет проходить по тому же пути через энергосистему, как и реактивный ток нагрузки. Поскольку такой емкостной ток I_c (который опережает напряжение системы) прямо противофазен реактивному току нагрузки I_L , две составляющие, протекающие по одному пути, будут компенсировать друг друга. При этом, если блок конденсаторов достаточно большой и $I_c = I_L$, не будет реактивного тока в системе перед конденсаторами.

Выбор уровня компенсации и расчет номинальных параметров блока конденсаторов зависит от конкретной нагрузки. Например, для двигателя потребляющего 100 $\kappa Вт$ при коэффициенте мощности $\cos \varphi = 0,75$ (т.е., $\text{tg } \varphi = 0,88$). Для повышения коэффициента мощности до $\cos \varphi = 0,93$ (т.е., $\text{tg } \varphi = 0,4$), реактивная мощность блока конденсаторов должна составлять: $Q_c = 100 (0,88 - 0,4) = 48 \text{ } \kappa ВАр$.

Очевидно (4, рис.2), что $\cos\varphi$ уменьшается, когда потребление реактивной мощности нагрузкой увеличивается.

Например для трехфазного электродвигателя с КПД $\eta = 0,91$, и измеренному в сети $\cos\varphi = 0,86$, обеспечивающего мощность на валу $P_{\text{н}} = 51 \text{ кВт}$:

-потребляемая активная мощность $P = P_{\text{н}} / \eta = 51 / 0,91 = 56 \text{ кВт}$;

-полная мощность $S = P / \cos\varphi = 56 / 0,86 = 65 \text{ кВА}$;

-реактивная мощность $Q = P \cdot \operatorname{tg}\varphi = 56 \cdot 0,59 = 33 \text{ кВАр}$, где $\operatorname{tg}\varphi = 0,59$ соответствует сдвигу фаз $\cos\varphi = 0,86$, или $Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{65^2 - 56^2} = 33 \text{ кВАр}$.

Необходимо стремиться к повышению $\cos\varphi$, т.к. низкий $\cos\varphi$ несет следующие проблемы:

1) высокие потери мощности в электрических линиях (протекание тока реактивной мощности);

2) высокие перепады напряжения в электрических линиях (например, $330 \div 370$ вместо 380 В);

3) необходимость увеличения габаритной мощности генераторов, сечения кабелей, мощности силовых трансформаторов.

Например (рис.4), в ситуации, когда активная мощность равна $P = 100 \text{ кВт}$, и реактивная $Q = 100 \text{ кВАр}$, полная мощность

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{100^2 + 100^2} = 142 \text{ кВА}.$$

Следовательно: коэффициент мощности равен $\cos\varphi = 100/142 = 0,70$ означает, что только 70% тока, поставляемого энергетической компанией, используется для совершения полезной работы.

После компенсации номинальной реактивной мощности путем конденсаторной установки $Q = 67 \text{ кВАр}$, реактивная составляющая снижается до $Q = 33 \text{ кВАр}$ и потребляемая из сети полная мощность снижается до

$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{100^2 + 33^2} = 105 \text{ кВА}$$

Коэффициент мощности $\cos\varphi$ при этом увеличивается $\cos\varphi = 100/105 = 0,95$, что соответствует оптимальному использованию электроэнергии.

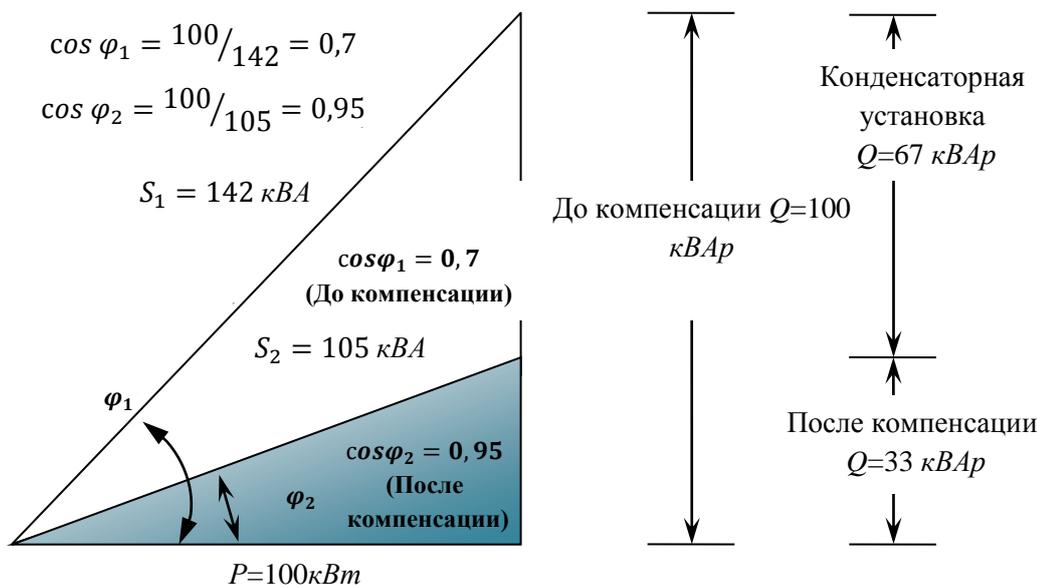


Рисунок 4 – Компенсация реактивной мощности

Из всего вышеприведенного понятно, что компенсация реактивной мощности необходима.

Компании, эксплуатирующие генерирующие и передающие мощности (это может быть как внешний поставщик, так и предприятие, производящее электроэнергию для собственных нужд) сталкиваются с необходимостью дополнительных затрат на оборудование и дополнительными потерями энергии. Поэтому

внешние поставщики взимают с потребителей дополнительную плату в том случае, если доля реактивной мощности превышает определенное пороговое значение. Как правило, в качестве порогового уровня выбирается величина $\cos\varphi$ в диапазоне между 1,0 и 0,9, при которой негативные эффекты, связанные с реактивной мощностью, могут считаться несущественными.

Один из наиболее эффективных путей компенсации – применение компенсирующего

устройства, как правило, конденсаторов. При этом большое значение имеет правильный выбор места установки. Общее правило: реактивную мощность надо компенсировать в месте ее потребления. Если источником реактивной мощности является двигатель насоса или компрессора, то целесообразно ставить компенсирующие конденсаторы непосредственно в шкаф управления этими устройствами. Если потребление реактивной мощности происходит на стороне низкого напряжения (НН), то компенсировать ее надо также на стороне НН, не допуская прохождения реактивной мощности через трансформатор. При этом следует отметить, что срок службы значительной доли силовых трансформаторов, эксплуатируемых на российских предприятиях, перешагнул 15-летний рубеж. Для продления оставшегося срока службы необходимо разгрузить трансформаторы по току, что уменьшит температуру перегрева обмоток и, следовательно, уменьшит скорость старения изоляции. Известно, что уменьшение температуры перегрева обмоток на 10 °С позволяет в среднем удвоить оставшийся срок службы. Учитывая значительную стоимость силовых трансформаторов, этот аспект, наряду с уменьшением платы за реактивную энергию, позволяет существенно улучшить экономические показатели предприятия.

Компенсация реактивной мощности производится путем подключения конденсаторов. Установка конденсаторной батареи уменьшает реактивную мощность Q , поэтому уменьшаются и просадки напряжения. При этом уменьшается потребление реактивной мощности и повышается $\cos\varphi$.

Это хорошо видно из формулы:

$$\Delta U_{\text{л}} = R \frac{P}{U_{\text{л}}} + X \frac{Q}{U_{\text{л}}}, \quad (8)$$

где: $\Delta U_{\text{л}}$ – просадка линейного напряжения; R – активное сопротивление линии; X – реактивное сопротивление линии ($R \ll X$).

Однако, в случае, если при неправильном расчете установленной конденсаторной батареи реактивная часть вышеприведенного уравнения станет отрицательной, то вместо уменьшения просадки напряжения произойдет увеличение напряжения в конце линии (эффект Ферранти), которое может иметь опасные последствия для подключенных внешних потребителей, поскольку при $\cos\varphi = 0,97$ и выше в сети будет генерироваться реактивная энергия. Для того, чтобы избежать платежей за потребление реактивной мощности, снизить нагрузку на кабели и трансформаторы и в тоже время застраховаться от перекомпенсации следует

поддерживать $\cos\varphi$ в диапазоне $0,9 \div 0,95$. Более того, из приведенных зависимостей следует, что при повышении $\cos\varphi$ от 0,9 до 0,99 полный ток уменьшается всего на 3%, а мощность конденсаторной установки, необходимой для этого, увеличивается в 2 раза, ее стоимость – в 1,5 раза, что экономически нецелесообразно.

Таким образом, способ достижения высокой энергоэффективности и энергосбережения состоит в повышении коэффициента мощности (компенсации реактивной мощности) в соответствии с требованиями местного поставщика электроэнергии при помощи методов, подобных перечисленным в табл. 3, с учетом условий их применимости [7].

Таблица 3 – Методы компенсации коэффициента мощности с целью повышения энергоэффективности

Метод	Применимость
Установка конденсаторов в цепях переменного тока для компенсации коэффициента мощности	Во всех случаях. Малозатратное мероприятие с долгосрочным эффектом, однако его осуществление требует соответствующей квалификации
Минимизация работы двигателей на холостом ходу или со значительной недогрузкой	Во всех случаях
Эксплуатация оборудования при напряжении, не превышающем номинального	Во всех случаях
При замене электродвигателей – использование энергоэффективных двигателей	При замене оборудования

Перед тем, как реализовать проект компенсации, следует учесть ряд мер предосторожности. В частности, следует избегать увеличения номинальных значений мощности двигателей, также как и работы двигателей в режиме холостого хода. В последнем случае получаемая реактивная энергия, потребляемая двигателем, приводит к крайне низкому коэффициенту мощности, что вызвано крайне малой активной мощностью, потребляемой двигателем (в ненагруженном состоянии).

Поставщик электроэнергии поставляет реактивную энергию бесплатно до точки, при которой ее потребление составляет менее 40% от потребления активной энергии ($\tan\varphi = 0,4$) в течение максимального периода 16 час в день (с 06-00 ч до 22-00 ч) в период наибольшей нагрузки (часто зимой). Без ограничения в те-

чение периодов низкой нагрузки зимой, весной и летом. В течение периодов ограничения счет за реактивную энергию, потребленную свыше 40% активной энергии ($tg \varphi > 0,4$), выставляются ежемесячно по текущим ставкам. Таким образом, количество реактивной энергии P , $кВт \times ч$, оплачиваемой потребителем в такие периоды, составляет:

$$Q = P (tg \varphi - 0,4), кВт \times ч, \quad (9)$$

где P , $кВт \times ч$ – активная энергия, потребленная в течение периодов ограничения, $P \cdot tg \varphi$ – общая реактивная энергия за период ограничения и $0,4P$, $кВт \times ч$ – количество реактивной энергии, поставленной бесплатно за период ограничения. Здесь $tg \varphi = 0,4$ соответствует коэффициенту мощности $cos \varphi = 0,93$. Таким образом, если принимаются меры по обеспечению того, что в течение периодов ограничения коэффициент мощности никогда не упадет ниже 0,93, потребитель ничего не будет платить за потребленную реактивную мощность.

Однако, получая такие преимущества пониженных затрат на электроэнергию, потребитель должен учитывать стоимость приобретения, установки и обслуживания конденсаторов для повышения коэффициента мощности и регулирования распределительных устройств, автоматических устройств (в случае ступенчатой компенсации с применением КТН) вместе с дополнительными $кВт \times ч$, потребляемыми диэлектриками.

Учитывая такие затраты на конденсаторы и т.д., может оказаться более экономически выгодным обеспечивать только частичную компенсацию, т.е., оплата некоторой потребляемой реактивной энергии может обходиться дешевле, чем 100% компенсация.

Компенсация реактивной мощности может быть общей (централизованной) и индивидуальной (рис.5).

Индивидуальная компенсация – компенсация реактивной мощности каждой нагрузки отдельно (например, на клеммах двигателя). Конденсатор подбирается по мощности и $cos \varphi$ двигателя, поэтому реактивная мощность двигателя компенсируется постоянно в течение всего дня, $cos \varphi$ достаточно высок. Дополнительное преимущество индивидуальной компенсации реактивной мощности заключается в том, что затраты на нее – самые низкие вследствие простоты технического решения.

Однако индивидуальная компенсация становится очень дорогим решением при большом количестве оборудования и, соответственно, большом числе устанавливаемых конденсаторов, потому, что большинство этих конденса-

торов не будут задействованы во время простоя части оборудования.

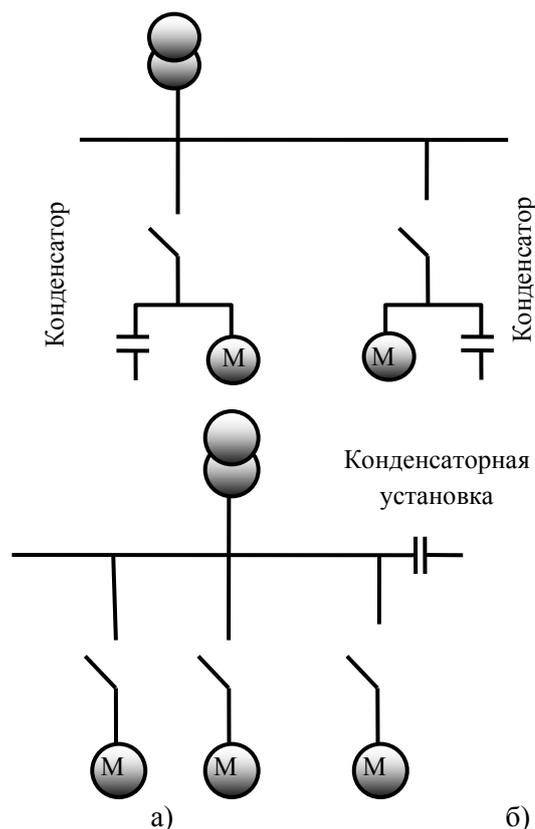


Рисунок 5 – Компенсация реактивной мощности конденсаторной установкой: а) – индивидуальная; б) – общая

Наибольшая эффективность индивидуальной компенсации достигается для условий, когда большая часть реактивной мощности генерируется небольшим числом нагрузок, потребляющих наибольшую мощность достаточно длительный период времени.

Общая (централизованная) компенсация – компенсация реактивной мощности с помощью одной конденсаторной установки, устанавливаемой на контакторы (КТН) или в составе главного распределительного щита (ГРЩ). Централизованная компенсация применяется там, где нагрузка флюктуирует (перемещается) между разными потребителями в течение дня. При этом потребление реактивной мощности в течение дня меняется, поэтому здесь предпочтительнее использовать автоматические конденсаторные, по сравнению с нерегулируемыми.

Основным фактором, влияющим на выбор наиболее подходящей схемы компенсации реактивной мощности является дневной тренд (характер изменения нагрузки).

Подводя итог, можно назвать следующие технико-экономические преимущества установки конденсаторной батареи:

- уменьшение потерь в электрической сети и в трансформаторах, вследствие уменьшения потребляемого тока;
- уменьшение просадок напряжения в электрических линиях;
- уменьшение расчетной мощности системы.

В связи с применением устройств управления электромеханическими преобразователями, использующих в своей схеме тиристоры (UPS полупроводники, используемые в выпрямительных цепях, статические преобразователи переменного напряжения в постоянное, устройства плавного пуска и др.), в электрических сетях появилось достаточно большое количество нелинейных возмущений, связанных с генерацией подобными устройствами дополнительных гармоник, частота которых, как правило, кратна частоте питающего напряжения $f = 50 \text{ Гц}$. Эти возмущения приводят к систематическому недопроизводству, а иногда и сбоям производственного оборудования. Поэтому необходимо использовать фильтры гармоник для предотвращения роста уровня нелинейных искажений в сети, поглощения (тепловыделения) гармоник, а также для рационального использования электроэнергии.

Любые приборы и оборудование с нелинейными характеристиками являются источниками гармоник в своей сети [9]. Гармоники тока могут сильно влиять на энергоснабжающие сети, а также перегружать силовые конденсаторы, служащие для компенсации реактивной мощности.

При увеличении частоты снижается сопротивление конденсатора и растет ток через него. Общий ток через конденсатор, таким образом, будет равен сумме тока основной частоты и гармонических токов.

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_i + \dots + I_n. \quad (10)$$

Гармониками называют совокупность определенного количества частот, которые могут быть добавлены к синусоиде 50 Гц для получения существующей формы тока или напряжения. Соответственно, при изменении их амплитуды, фазы и частоты изменяется кривая тока или напряжения как результат синтеза гармоник. Искаженная кривая тока или напряжения может быть разложена на фундаментальную синусоиду (50 Гц) и сумму определенного количества частот кратных 50 Гц . Например (рис.6), 250 Гц – 5-я гармоника и 350 Гц – 7-я гармоника.

Нелинейные искажения проявляются как изменение синусоидальности кривой тока

или напряжения. Частоты выше фундаментальной (50 Гц) называются гармониками, частоты ниже фундаментальной называются субгармониками.

К проблемам, создаваемым гармониками, относятся:

- дополнительная вибрация в двигателях переменного тока, снижающая ресурс их эксплуатации;
- повышенные потери на перегрев двигателя и возможное повреждение изоляционных материалов;
- повышенные потери в обмотках и магнитопроводе трансформатора, приводящие к выходу последнего из строя;
- появление постоянной составляющей тока или напряжения может вызвать насыщение обмоток и увеличение тока намагничивания;
- перегрев конденсаторов и увеличение тока через них, что снижает срок службы.

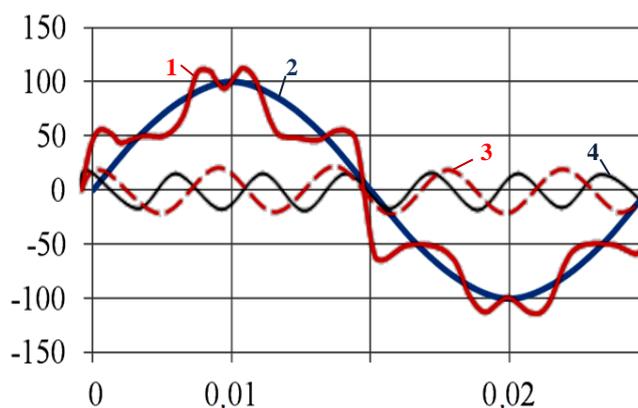


Рисунок 6 – Искаженная кривая тока (1) [результат действия на основную частоту $f = 50 \text{ Гц}$ (2) 5-ой гармоники $f = 250 \text{ Гц}$ (3) и 7-ой гармоники $f = 350 \text{ Гц}$ (4)]

Для предотвращения перечисленных проблеме необходимо перед внедрением установок компенсации реактивной мощности провести полный и всесторонний анализ электросети предприятия на предмет гармоник, так как при установке конденсаторов в сети может появиться резонанс в случае если индуктивное сопротивление силового трансформатора сравнится с емкостным сопротивлению конденсаторов, т.е:

$$L = 1/C. \quad (11)$$

Резонансы подразделяются на два основных типа: последовательный и параллельный

ный. Электрическая эквивалентная схема представлена на рисунке 7.

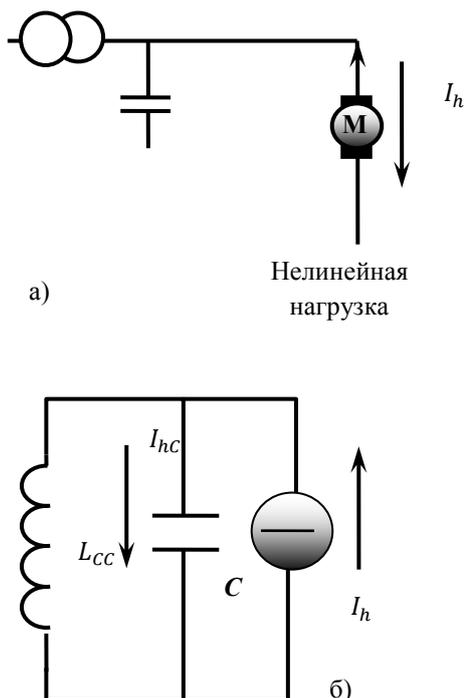


Рисунок 7 – Нелинейная нагрузка: а) – установка конденсатора; б) – эквивалентная схема

Гармоника, на которой может произойти резонанс в сети, определяется формулой:

$$N = \sqrt{P_{к.з.}/Q} \cong \sqrt{S \cdot 100 / Q \cdot U_{к.з.} \%}, \quad (12)$$

где: N – номер гармоники, на которой вероятно возникновение резонансных явлений; $P_{к.з.}$ – мощность короткого замыкания в сети, $мВА$; Q – мощность конденсаторной установки, $кВАр$; S – номинальная мощность силового трансформатора, $кВА$; $U_{к.з.}$ – напряжение короткого замыкания, % (указано на шильдике трансформатора, либо заявляется производителем).

При параллельном резонансе в сети, напряжение и ток в цепи "силовой трансформатор – конденсаторная установка" резко возрастают при воздействии резонансной гармоники.

Например, при мощности силового трансформатора ТМ-630/6/0,4 – $S = 630 \text{ кВА}$; напряжение короткого замыкания трансформатора – $U_{к.з.} = 6 \%$; мощность конденсаторной установки КРМ(УКМ58)-0,4-300 – $Q = 300 \text{ кВАр}$. Тогда получим

$$N = \sqrt{\frac{S \cdot 100}{Q \cdot U_{к.з.} \%}} = \sqrt{\frac{630 \cdot 100}{300 \cdot 6}} \cong 6.$$

Таким образом, мы видим, что система силовой трансформатор – конденсаторная установка имеет частоту параллельного резонанса $300 \text{ Гц} = 50 \text{ Гц} \times 6$. Поэтому оптималь-

ным решением для этого случая будет использование расстроенных дросселей (рис.8) включенных последовательно с конденсаторами и сдвигающими частоту резонанса системы ниже самой низкой из частот присутствующих в сети гармоник.

Резонансная частота без расстроенного дросселя определяется как:

$$f_p = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_{cc} \cdot C}) \quad (13)$$

Резонансная частота с расстроенным дросселем определяется как:

$$f_p = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{(L_{cc} + L_f) \cdot C}) \quad (14)$$

Обычно резонансная частота между конденсатором и последовательно включенным расстроенным дросселем ниже 250 Гц и находится в интервале $135 \div 210 \text{ Гц}$. Установка расстроенного дросселя последовательно с конденсаторной установкой определяет частоту последовательного резонанса.

$$f_s = 1 / (2 \cdot \pi \cdot \sqrt{L_f \cdot C}) \quad (15)$$

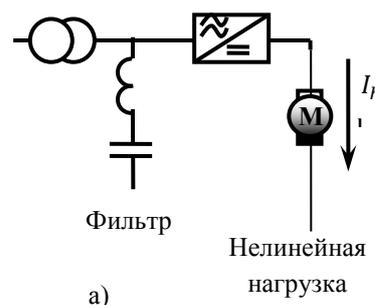


Рисунок 8 – Нелинейная нагрузка: а) – установка конденсатора и расстроенного дросселя; б) – эквивалентная схема

Если в сети присутствует гармоника тока с частотой, равной частоте последовательного резонанса, то она полностью поглощается системой конденсатор – расстроенный дроссель. На этом принципе основана реализация настроенных фильтров. Такое применение необходимо, когда мы хотим снизить общее

гармоническое искажение тока THD^8 (табл. 4) в системе, которое определяется по формуле:

$$THD = \sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2} / I_1 \times 100\%, \quad (16)$$

где: I_1 – ток основной частоты 50 Гц; $I_{2,3\dots n}$ – токи гармоник.

Таблица 4 – **Предельные значения THDI** (в % в зависимости от тока короткого замыкания $I_{кз}$ и максимального потребляемого тока $I_{п,max}$)

$I_{кз}/I_{п,max}$ *	$<11^{**}$	$11 \leq h < 17$	$17 \leq h < 23$	$23 \leq h < 35$	$35 \leq h$	THD
$<20^{***}$	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	,0
$20 < 50$	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	,0
$50 < 100$	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	2,0
$100 < 1000$	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	5,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	0,0

Примечания: * – максимальное искажение по току в % $I_{п,max}$ (первой гармоники $f = 50$ Гц); ** – порядок гармоники (нечетные); *** – все энергогенерирующее оборудование ограничивается значениями

Гармоники, генерируемые источниками, не остаются в системе, а проявляются в соседних связанных электросетях и могут приводить к катастрофическим последствиям в других системах, такие как:

- перегрев и выход из строя трансформаторов;
- увеличение тока или перегрузка током конденсаторов и шум;
- сбой в работе систем контроля;
- изменение напряжения;
- перегрузка вращающихся устройств;
- ошибки срабатывания автоматических выключателей;
- ошибки в коммуникационном оборудовании;
- большой ток в нейтрали и низкое напряжение между фазой и РЕ.

Для снижения и устранения гармоник применяют специальные фильтры, подавляющие и потребляющие гармоники, генерируемые различным оборудованием. Фильтр, обычно, состоит из резистора, катушки индуктивности

(реактора) и конденсатора. Типовой фильтр гармоник состоит из одиночных шунтирующих фильтров для гармоник низкого порядка (3-я – 15-я). Для гармоник более высокой частоты устанавливаются дополнительные фильтры.

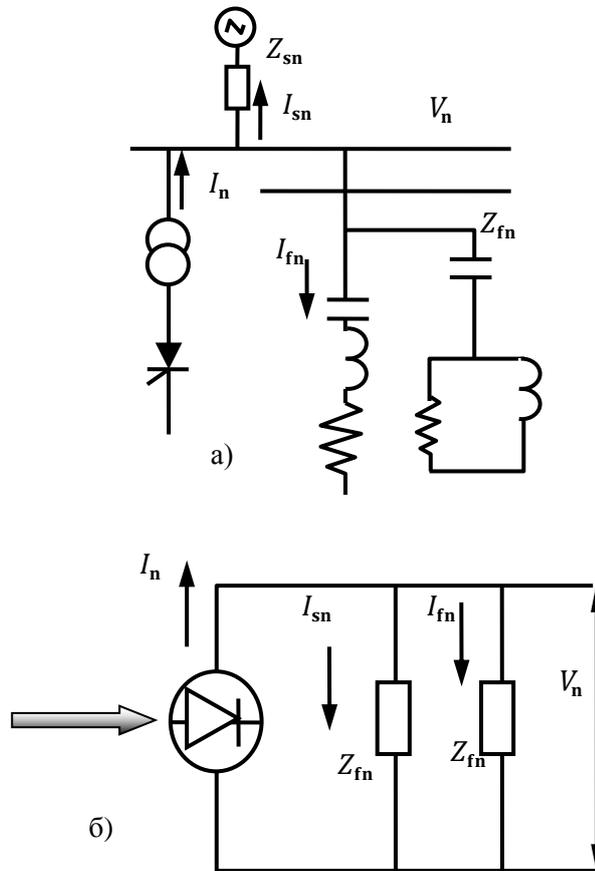


Рисунок 3.56 – **Подавление гармоник:** а) – установка фильтра гармоник; б) – эквивалентная схема

Эффективность фильтров гармоник оценивается следующими факторами:

- улучшением $\cos \varphi$ в сети (уменьшаются перетоки реактивной мощности, улучшается эффективность использования электроэнергии и, как следствие, снижаются затраты);
- подавлением гармоник сети;
- решением проблемы резонанса между индуктивностями и емкостями в системе;
- увеличением производительности и срока службы оборудования на производстве вследствие контроля за качеством напряжения.

В целом, повышение эффективности систем электроснабжения при эксплуатации энергопотребляющих установок заключается в оптимизации эффективности системы их электроснабжения при помощи методов, перечисленных в табл. 5, в соответствии с условиями их применимости [7].

⁸ THD – коэффициент искажения синусоидальности кривой напряжения (см. ГОСТ 13109-97)) широко применяется при определении уровня содержания гармоник в знакопеременных сигналах. THD выражается в процентах.

Таблица 5 – Методы оптимизации системы электроснабжения с целью повышения энергоэффективности

Метод	Применимость
Обеспечение достаточного диаметра кабелей, соответствующего мощности с целью снижения активных потерь	Когда энергопотребляющее оборудование не используется, например, во время остановов, установки или перемещения оборудования
Эксплуатация трансформаторов при достаточной нагрузке (превышающей 40÷50% номинальной мощности)	для существующих предприятий: при нагрузке ниже 40% номинальной мощности и одновременной работе нескольких трансформаторов; • при замене оборудования: установка трансформатора с пониженным уровнем потерь и ожидаемым уровнем нагрузки 40–75% номинальной мощности;
Использование трансформаторов с повышенным КПД/пониженным уровнем потерь	При замене оборудования или если оправдано с точки зрения затрат за время жизненного цикла
Размещение оборудования, требующего большой силы тока, как можно ближе к источникам питания (например, трансформаторам)	При размещении или перемещении оборудования
Компенсация реактивной мощности и подавление гармоник в сети	По мере необходимости. Когда энергопотребляющее оборудование не используется, например, во время остановов, установки или перемещения оборудования

Поскольку в качестве энергопотребляющих установок широко применяются электродвигатели, то замена существующих двигателей на энергоэффективные и двигатели с переменной скоростью представляет собой один из наиболее очевидных способов повышения энергоэффективности энергопотребляющих установок [3]. Однако эти мероприятия должны осуществляться в контексте оптимизации всей системы, в состав которой входят двигатели. В противном случае существует риск:

- неиспользования потенциала оптимизации характеристик системы в целом, включая ее производительность, что позволило бы оптимизировать требования к мощности двигателей;
- потерь энергии в случае применения

приводов с переменной скоростью в неподходящих условиях.

Таблица 6 – Методы повышения энергоэффективности электродвигателей

Метод повышения энергоэффективности	Применимость
Установка или модернизация системы	
Использование энергоэффективных двигателей	С учетом затрат за время жизненного цикла
Выбор оптимальной номинальной мощности двигателя	С учетом затрат за время жизненного цикла
Установка приводов с переменной скоростью (ППС)	Использование ППС может быть ограничено вследствие соображений безопасности. В соответствии с нагрузкой. При наличии нескольких двигателей в системе, от которой требуется переменная производительность, (например, в системе сжатого воздуха) оптимальным может быть использование только одного привода с переменной скоростью
Установка передачи/редукторов с высоким КПД	С учетом затрат за время жизненного цикла
Использование: • жесткого соединения там, где это возможно; • синхронных или зубчатых ременных передач вместо обычных клиновидных; • косозубой цилиндрической передачи вместо червячной	Все системы
Ремонт двигателя с обеспечением энергоэффективности или замена на ЭЭД	При проведении ремонта
Перемотка: отказ от перемотки и замена на ЭЭД, или обращение к сертифицированной организации, осуществляющей ремонт с обеспечением энергоэффективности	При проведении ремонта
Контроль качества электроснабжения	С учетом затрат за время жизненного цикла
Эксплуатация и ТО системы	
Смазка, регулировка, настройка	Все системы

Осуществление мероприятий по оптимизации систем с электроприводом необходимо производить в два этапа. На первом этапе провести оптимизацию всей системы, использующей электродвигатели, как целого (например, системы охлаждения, утилизации тепловой энергии, отопления и др.). На втором этапе – оптимизация самих электродвигателей, входящих в состав системы, на основе вновь определенных требований к мощности с использованием одного или нескольких методов, перечисленных в табл.6, в соответствии с условиями применимости.

Литература

1. ФЗ от 23 ноября 2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергоэффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты РФ».
2. Госпрограмма РФ «Энергоэффективность и развитие энергетики», (утв. распоряжением Правительства РФ от 3 апреля 2013 г. № 512-р).
3. Лепеш, Г.В. Энергосбережение в системах жизнеобеспечения зданий и сооружений /Г.В. Лепеш. – СПб.: Изд-во СПбГЭУ, 2014. – 437 с.
4. ГОСТ 13109-97. «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».
5. ГОСТ 32144-2013. «Электрическая энергия. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Энергетическая стратегия России до 2030 г. (утв. распоряжением Правительства РФ от 13 ноября 2009 года N 1715-р).
6. РД 34.09.101 -94. Типовая инструкция по учету электроэнергии при ее производстве, передаче и распределении. М: СПО ОРГРЭС, 1995.
7. Справочный документ по наилучшим доступным технологиям обеспечения энергоэффективности. – 2009/ [Электронный ресурс]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/60d/energo_1303.pdf
8. Лепеш, Г.В. Оперативный контроль и диагностика оборудования/Г.В. Лепеш, В.Н.Куртов, Н.Г.Мотылев и др.// Техничко-технологические проблемы сервиса. -2009. -№3(9). С.8 – 16.
9. Вороничкий В.Э., Калинкина М.А.. Расчет, нормирование и снижение потерь электроэнергии в электрических сетях. / Учебно-методическое пособие. – М.: ИПК госслужбы, 2000



УДК 625.7

ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ОРГАНИЗАЦИИ ЦЕНТРА УПРАВЛЕНИЯ ОПЫТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫМИ ПОЛИГОНАМИ НА СЕТИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ю.Г. Лазарев¹, Д.Ю. Кириллова²

¹Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21;

²Санкт-Петербургский государственный политехнический университет (СПбГПУ), 195251,
Санкт-Петербург, Политехническая, 29

Обоснованы рекомендации по организации центра управления опытно-экспериментальными полигонами с целью повышения осведомленности о состоянии автомобильных дорог и факторах, влияющих на возможность увеличения межремонтных сроков до 12 лет.

Ключевые слова: опытно-экспериментальные полигоны, центр управления, дорожные конструкции, программа испытаний, участки мониторинга, сеть федеральных автомобильных дорог.

GENERAL RECOMMENDATIONS FOR THE MANAGEMENT CENTRE OF THE PILOT LANDFILLS TO THE NETWORK OF FEDERAL ROADS

Yu.G. Lazarev, D.Yu. Kirillova

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21;*

Saint Petersburg Polytechnic University (SpBPU), 195251, Saint-Petersburg, Polytechnic, 29

Provided rationalization for recommendations for organization of control center of experimental testing roads for the purpose of increasing awareness about the condition of auto-roads and factors affecting on opportunity to increase repair interval of up to 12 years.

Keywords: testing roads, control center, road structure, testing program, monitoring area, the network of Federal roads.

Введение

Организация опытно-экспериментальных полигонов на сети Федеральных автомобильных дорог позволит не просто проводить отдельные натурные эксперименты, но и получать на этой основе комплексные данные, и в целом создавать научную базу (инфраструктуру) обеспечения транспортного комплекса. [1,2,3].

Возможность качественного решения столь комплексной задачи лежит в плоскости создания Центра с автоматизированной информационной системой управления опытно-экспериментальными полигонами, которая позволит обеспечить информационную поддержку их функционирования.

Постановка задачи

Устройство, оснащение и организация опытно-экспериментальных полигонов базируется на том, что они должны позволить проведение исследований по вопросам, связанным с мониторингом:

- состояния конструкции (напряженно-деформированного и транспортно-эксплуатационного состояний и их динамики во времени);

- погоды (мониторинг основных явлений и их влияния на водно-тепловой режим конструкций, работоспособности как в целом, так и отдельных слоев);

¹Лазарев Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Автосервис» СПбГЭУ, тел: +7 (812) 758-44-29, e-mail: lazarev-yurij@yandex.ru;

²Кириллова Диана Юрьевна – магистр кафедры «Строительство уникальных зданий и сооружений», (СПбГПУ), тел: +7-904-334-26-64; e-mail: kirdiana@mail.ru

- транспортного потока (выявление сезонных и годовых изменений и влияние на динамику деградации эксплуатационного состояния);

- изучения инновационных дорожно-строительных материалов (влияние их на распределяющую способность и другие качества конструкций, мониторинг стабильности свойств во времени);

- технологий (целесообразность при строительстве, ремонте или капитальном ремонте, влияния на степень деградации переменных параметров покрытий и ухудшение потребительских свойств дороги) [4,5,6,7,8,9].

Результаты всех этих испытаний и моделирования должны быть сохранены и в дальнейшем использованы, то есть предполагается их передача в Центр управления опытно-экспериментальными полигонами.

Основная часть

Для решения этих вопросов в РФ Центр управления опытно-экспериментальными полигонами должен выполнять следующие функции (рис.1):

1) Формирование программ испытаний и моделирований для опытно-экспериментальных полигонов (дополнительно к программам, формируемым непосредственно на опытно-экспериментальных полигонах), которые используются полигонами как вводные директивные указания.

2) Аккумуляция результатов испытаний и моделирований, выполняемых на опытно-экспериментальных полигонах, для дополнительного анализа.

3) Проведение дополнительного анализа результатов испытаний и моделирований, выполняемых на опытно-экспериментальных полигонах.

4) Формирование рекомендаций для организаций-заказчиков испытаний по итогам проведенного анализа.

Кроме того, Центр управления обеспечивает распространение результатов аналитической обработки для ознакомления внешними субъектами (в том числе организациями, подчиняющимися ФДА).



Рисунок 1 – Схема функционирования Центра управления

Поддержка функционирования Центра управления опытно-экспериментальными полигонами предполагает выполнение следующих действий:

1) Формирование программы испытаний на опытно-экспериментальном полигоне.

Альтернативно – формирование программы испытаний на основе программы

испытаний, сформированной на опытно-экспериментальном полигоне (либо на основе целей испытаний, сформированных в центре управления).

Предусмотрены следующие режимы создания программы испытаний:

- прямое задание параметров в составе программы испытаний;
- задание целей испытаний, трансформируемых в параметры программы испытаний.

При этом может быть предусмотрен процесс согласования программы испытаний между опытно-экспериментальным полигоном и Центром управления.

2) Запуск программы испытаний с задействованием транспортных средств и испытательных участков опытно-экспериментального полигона.

Запуск предполагает формирование соответствующих управляющих команд для:

- средств управления транспортными потоками;
- средств моделирования метеоусловий и прочих природных и техногенных факторов.

3) Сбор/формирование данных о ходе проведения испытаний.

На данном этапе осуществляются следующие операции:

- сбор данных с датчиков, их консолидация и привязка к единой шкале времени;
- моделирование показателей, реальные значения которых получить невозможно или затруднительно.

Обработка данных, собранных с датчиков и полученных моделированием, включающая в себя:

- предварительную обработку и очистку данных (исключение ошибок, дублей, наложений, аномальных экстремумов и т.п.);
- формирование производных показателей;
- аналитическую обработку исходных данных и/или производных показателей;
- принятие решений, формирование рекомендаций на основании результатов аналитической обработки.

4) При необходимости – передача результатов аналитической обработки (опционально – включая исходные данные) и результатов моделирования в центр управления для дополнительной обработки.

Политика передачи данных в Центр управления определяется соответствующим регламентом.

5) При необходимости – публикация результатов аналитической обработки (опционально – включая исходные данные) и результатов моделирования на внутренних или общедоступных сайтах.

Политика публикации данных определяется соответствующим регламентом. К примеру, на общедоступных сайтах могут публиковаться только обобщенные результаты аналитической обработки без исходных данных.

Основной же задачей Центра управления опытно-экспериментальными полигонами является информационная поддержка их функционирования.

Тогда отдельные элементы Центра управления должны выполнять задачи следующих типов (рис. 2):

- целевые задачи;
- управленческие и учетные задачи, выполняемые совместно с внешними информационными системами;
- обеспечивающие задачи.

Выводы

Таким образом, соблюдение вышеперечисленных требований позволит обоснованно обеспечивать надёжную работу Центра управления опытно-экспериментальными полигонами и его последующей бесперебойной работы путем решения следующих основных задач:

Хранение и обработка информации, поступающей с системы мониторинга опытно-экспериментальных полигонов;

Мониторинг состояния объекта управления и анализ поступающей информации со стационарных датчиков и мобильных лабораторий;

Моделирование данных с использованием информационно-аналитических систем;

Формирование отчётов, аналитическая обработка информации и экспертная оценка текущих измерений;

Комплексное информирование пользователей о текущем состоянии объектов управления, актуальных и потенциальных проблемных ситуациях;

Электронный обмен данными с удаленными объектами управления;

Видеоконференцсвязь с удаленными объектами управления;

Визуализация информации.

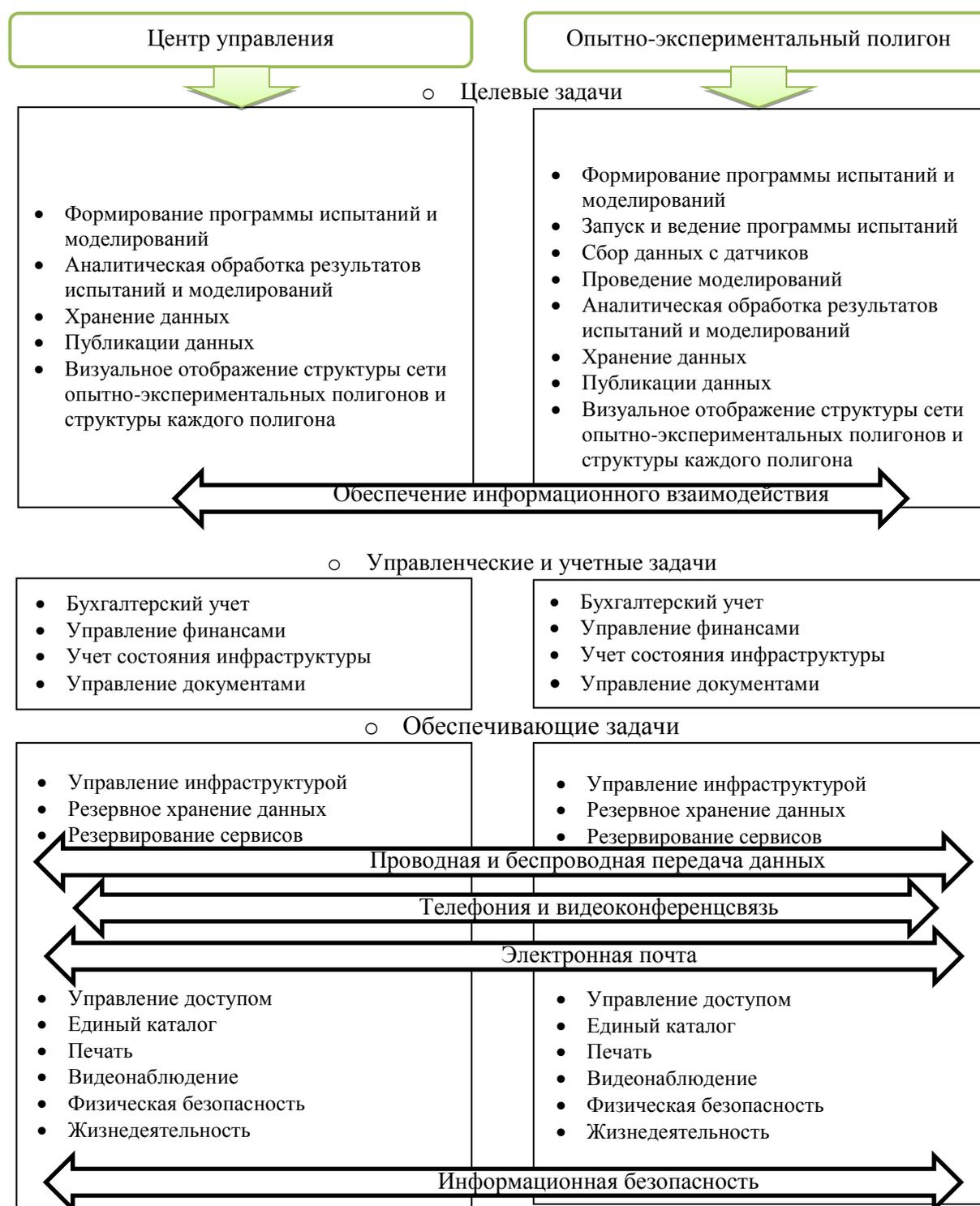


Рисунок 2 – Информационные задачи функционирования Центра управления

Литература

- Ильин, С.В. Уникальный объект на автомагистрали / С.В. Ильин, Е.В. Углова, С.С. Саенко // Автомобильные дороги. – 2014. – № 03(988). – С. 10–13.
- Лазарев Ю.Г. Транспортная инфраструктура (Автомобильные дороги). Монография – LAP LAMBERT, Германия: 2015. 173 с.
- Федоров В.П. Стратегия долгосрочного развития магистральных автомобильных дорог /

- В.П. Федоров, Н.В. Шаталова // Транспорт Российской Федерации. - 2009. – № 2 (21), – с. 20-22.
- Лазарев Ю.Г., Анализ правовых и экономических аспектов применения опытно-экспериментальных полигонов на действующей сети автомобильных дорог. Технико-технологические проблемы сервиса. 2016. № 2 (36). С. 52-56.

5. Ермошин Н. А., Егосин А.М., Лазарев Ю.Г., Змеев А.Т. Проблемы и методологические аспекты организации дорожной деятельности в интересах военной безопасности государства. //Монография, С.-Пб.: ВА МТО- : ООО «Р-КОПИ», 2017. 164 стр.
6. Брайла Н.В., Лазарев Ю.Г., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Улыбин А.В. Современные проблемы строительной науки, техники и технологии. Учебное пособие / Санкт- Петербург, 2017. 141 стр.
7. Лазарев Ю.Г., Формирование методики оценки точности (надежности) проектирования дорожных одежд нежесткого типа. / Ю.Г. Лазарев, П.А. Петухов, М.В. Широких/ Вестник

- гражданских инженеров. 2016. № 2 (55). С. 38-46.
8. Лааксонен Р., Методика расчета деформации дорожной конструкции в различных климатических условиях Финляндии/ Райнер Лааксонен, Гарри Кивикоски, Маркку Пинеймяки, Леена Коркияла- Тантту де Йоко Тортквист// Tiehallinnon selvityksiä 57/2004. Сокращенный отчет – Юха Ряту, редакторы-консультанты – Яри Пихлаямяки и Маркку Пиенимяки, редактирование, русский язык – Ольга Довгулевич. Компания ФИИНМАП Инфра, 2016. 25 с.
9. Морозов А.Г., Лазарев Ю.Г., Логистика придорожного сервиса / А.Г. Морозов, Ю.Г. Лазарев // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 4(34). С.77–82.

УДК 625.7

АНАЛИЗ МЕЖДУНАРОДНОГО ОПЫТА РАЗВИТИЯ ПРИДОРОЖНОГО СЕРВИСА НА СЕТИ ФЕДЕРАЛЬНЫХ АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

Ю.Г. Лазарев¹, К.Э. Зянкина²

¹*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ), 191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21*

Данная статья посвящена анализу международного опыта развития придорожного сервиса и поиску инновационных решений развития придорожного сервиса с целью их внедрения в РФ.

Ключевые слова: придорожный сервис, логистический подход, сервисное обслуживание, инновационные решения развития придорожного сервиса

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE OF DEVELOPMENT OF ROADSIDE SERVICE ON THE NETWORK OF FEDERAL ROADS

Yu.G. Lazarev, C.E. Ziancina
Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU), 191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21.

This article is devoted to analysis of international experience of development of roadside service and innovative solutions for the development of roadside service with the purpose of their introduction in Russia.

Keywords: roadside service, logistic approach, customer service, innovative solutions development of roadside service.

Введение

Придорожный сервис за рубежом, в отличие от РФ, развивался и развивается уже много десятков лет и является участником национальных экономик. Основными его показателями являются хорошо налаженная сеть придорожных объектов, низкая удаленность

объектов сервиса друг от друга, качественный сервис.

Указанные обстоятельства свидетельствуют о том, что одним из наиболее важных приоритетов для РФ в этих условиях является обеспечение устойчивости и предсказуемости работы объектов придорожного сервиса.

¹*Лазарев Юрий Георгиевич – кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры «Автосервис» СПбГЭУ, тел: +7 (812) 758-44-29, e-mail: lazarev-yurij@yandex.ru;*

²*Зянкина Кристина Эдуардовна – магистр кафедры «Автосервис» СПбГЭУ, тел: +7 921-379-42-23; e-mail: kris2402@yandex.ru*

Это предусматривает создание технологических и инфраструктурных резервов, при помощи которых в условиях естественного колебания и роста прогнозируемого спроса на услуги придорожного сервиса в соответствии с потребностями социально-экономического развития страны транспортная система будет способна предоставить населению и бизнесу безопасные, доступные по цене и предсказуемые услуги надлежащего качества в нужное время и в нужном месте с минимальным негативным воздействием на окружающую среду и здоровье человека [1,2,3].

Наиболее показательным примером того как должны развиваться инновационные технологии придорожного сервиса в России, являются такие страны, как США, Германия, Польша, Словакия, Швейцария, Франция и Белоруссия.

Опыт развития системы объектов придорожного сервиса в США

Придорожная структура США имеет довольно продолжительную историю развития. Америка является самой преуспевающей страной в мире, благодаря многофункциональности и насыщенности предприятий сервиса. Огромное значение в дорожном комплексе США занимают коммерческие дороги. Также реализуется принцип концессий. То есть те или иные проекты появляются путем сдачи в аренду участков вдоль дороги частным лицам, а не муниципальным органам.

В разрез с российским опытом строительства придорожных объектов, которые представлены отдельно стоящими объектами, в США создаются многофункциональные комплексы (МФК), организованные на съездах с крупных шоссе. В комплексе собран широкий спектр услуг для автомобилистов и путешественников. МФК включает: автозаправочные станции, станции технического обслуживания, кафе, пункты розничной торговли, мотели и другие объекты [3,4,5].

Дороги США делятся на 4 вида:

1. Межштатные
2. Федеральные
3. Штатные
4. Местные.

Часть скоростных магистралей (хайвэев) платные. Они имеют название Toll Roads. Магистралы оплачиваются при выезде и имеют разную стоимость. Стоимость зависит от участка въезда на такую магистраль, если въезжать не вначале, то при въезде выдается чек с номером въезда, а на съезде он оплачивается, в зависимости от пройденного расстояния.

В Оклахоме есть две таких магистрали от начала и до конца по стоимости 4 доллара каждая.

На горных трассах в Северной Каролине расположены отдельные, специализированные съезды вправо, вверх с дороги в горы. Они предназначены для безопасности передвижения по дороге фур, если вдруг у них отказали тормоза или они набрали большую скорость, съезда помогут остановиться.

По периметру дорог, иногда в центре (для подъезда с двух сторон) оборудованы «Зоны отдыха». Они имеют названия: Rest Area или Welcome Center. Такие зоны включают в себя:

- беседки (зоны для пикника);
- места выгула собак;
- парковки (для легковых и грузовых авто);
- бесплатные туалеты;
- маленькие ресторанички;
- информационные центры.

На въезде, в такие зоны, всегда установлены высокие флажки с государственным флагом и флагом штата.

Наиболее преуспевающим является придорожный бизнес на съездах с магистралей. Здесь размещено все необходимое для автотуристов: АЗС, СТО, кафе, мотели, магазины, туалеты. Вдоль дороги расположены информационные указатели, благодаря которым, можно получить информацию об услугах, имеющихся на данном выезде.

В Америке существует две самые распространенные сети придорожных мотелей. Они имеют название «Motel 6» и «Super 8», мотели являются бюджетными и расположены по всей стране. Стоимость номеров варьируется от 6 до 8 долларов. Еще один плюсом мотелей является допустимость размещения в двухместных номерах по 4 человека.

Также на дорогах США нередко можно встретить мотели следующих брендов: Best Western, Comfort Inn, Sleep Inn, Quality Inn, Days Inn и другие. Все они входят в отдельные крупные сети.

Наиболее масштабная из таких сетей, сеть Choice Hotels International, Inc, ее общая численность более семи тысяч отелей. Мотели данной сети соответствуют российским гостиницам – 4 звезды. Номера оснащены всем необходимым:

- двуспальная кровать;
- рабочий стол;
- холодильник;
- телевизор;
- фен;
- утюг и гладильная доска;

- микроволновая печь;
- кофеварка;
- интернет;
- парковка.

Еще одним распространенным видом отдыха в пути является остановка в кемпингах со своими палатками. В США их насчитывается огромное количество. Все кемпинги имеют различную ценовую политику и оснащены по-разному. Благодаря новым технологиям, чтобы получить место в кемпинге, достаточно заблаговременно забронировать его через интернет [1,3,4].

Что касается питания, то вдоль трассы расположена масса ресторанчиков быстрого питания: Burger King, McDonald's, Wendy's, Arby's. В сети ресторанчиков Subway значительный ассортимент: диетические блюда, супа, сэндвичи и свежие салаты. В таких кафе удобно покупать напитки: при приобретении стакана для любого лимонада, можно бесплатно повторно наполнить стакан и взять с собой.

Анализ европейской системы инновационных технологий придорожного сервиса

В странах Западной и Восточной Европы прослеживается комплексный подход к формированию придорожного сервиса. Зоны придорожного сервиса включают в себя АЗС и мотели, а также ресторанные комплексы с сегментом развлекательных услуг.

Самый высокий уровень развития придорожного сервиса наблюдается в Западной Европе, а именно в Бельгии, Германии, Голландии. Безупречно оборудованы АЗС и парковки. Широкий ассортимент мотелей, пунктов розничной торговли, кафе, ресторанов на любой бюджет. Все заправки оснащены санитарными блоками, а также пунктами питания, что немало важно для автотуристов и дальнобойщиков. Вдоль трасс размещены указатели с основной информацией, в том числе о въездах в придорожные зоны. На придорожных объектах работает квалифицированный контактный персонал, говорящий на нескольких языках, включая русский.

Отличительной особенностью в Германии является наличие более 3800 специализированных стоянок для фур, что не идет в сравнение с Россией. При этом общая протяженность автомобильных дорог в Германии составляет примерно 260 тысяч километров, при этом средняя плотность составляет около 700 километров на каждую тысячу квадратных километров территории страны. Данные показатели превосходят российские более чем в 20 раз.

Важным показателем является финансирование строительства и содержание автомобильных дорог в Германии, который имеет строгую зависимость от их классификации. Все имеющиеся на территории Германии автобаны, «скоростные автотрассы» обслуживаются за счет средств федерального бюджета, а дороги регионального или местного значения, обслуживаются за счет бюджетов самих федеральных земель или местных коммун. Основным источником поступления средств является автомобильный налог, ставки которого устанавливает федеральный закон, и все собранные средства поступают в региональные бюджеты, по месту, где зарегистрирован автомобиль. Всего на федеральных автодорогах открыто около 3,5 тысяч пунктов общепита, чуть больше 500 кемпингов и мотелей, почти четыре тысячи автозаправок. [3,6] Количество объектов придорожного сервиса в Германии представлено на рисунке 2. Так же в Германии расположено большое количество многофункциональных комплексов, особенностью которых является ландшафтный дизайн в виде альпийских гор и одинаковая стилистика зданий, на территории оборудованы фонтаны, аллеи и места для выгула животных.

В популярных для путешественников странах, таких как Италия, Швейцария и Франция, зоны отдыха размещены каждые 20-30 км. Все здания и прилегающие территории выстроены по однотипному плану и имеют стандартный ассортимент услуг.

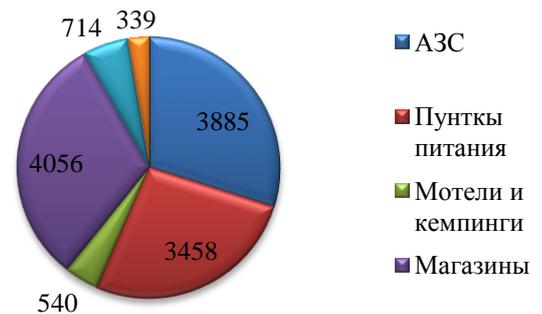


Рисунок 2 – Объекты придорожного сервиса в Германии

В Швейцарии, придорожный сервис широко развит и на автомагистралях, проходящих высоко над восточным побережьем Женевского озера. Автотуристы проявляют большой интерес к зонам отдыха тех мест, так как они выполняют функции смотровых площадок. На разных уровнях дороги можно найти небольшие зоны среди виноградников, которые вмещают не более двух машин. На набережных

тоже предусмотрены парковочные места. На всех заправках и вдоль трасс, имеются бесплатные биотуалеты, в том числе для лиц с ограниченными возможностями.

Страны Восточной Европы достаточно быстро нагоняют уровень развития западной стороны. В Польше на основных автомагистралях придорожный сервис имеет достаточно обширный ассортимент, сюда входят:

- заправки;
- кафе;
- мотели;
- туалеты;
- душевые;
- мойки для большегрузных авто;
- охраняемые стоянки.

Кроме того, в Польше объекты придорожного сервиса расположены достаточно близко друг от друга, что устанавливается польскими нормативами. Так по данным нормативам, пункты питания и автозаправочные станции должны размещаться на расстоянии 40 километров друг от друга, при высокой интенсивности движения, которая составляет более 15 тыс. автомобилей в сутки, и через 80 километров – при низкой интенсивности движения, которая составляет от шести до двенадцати тысяч автомобилей в сутки [1,3].

Преимуществом, придорожных зон Польши, является их ценообразование. В мотелях и кафе можно недорого и сытно поесть, средний чек за обед выходит около восьми евро.

Политика цен в странах Восточной Европы гораздо доступнее, чем, например, в Германии. В придорожном кафе Словакии, заказав фирменные блюда – салат, бифштекс и пиво, чек выйдет не более 5 долларов.

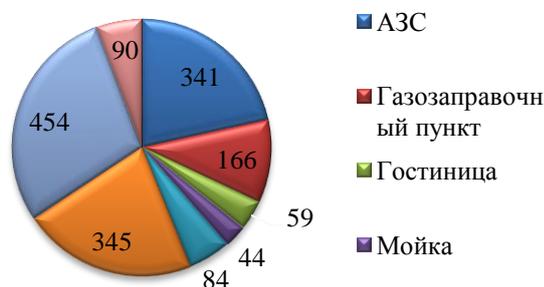


Рисунок 3 – Диаграмма объекты придорожного сервиса Республики Беларусь

В Беларуси, как и в других странах, в систему придорожного обслуживания входят объекты, расположенные на придорожной полосе функционирующих дорог и предназначен-

ные для оказания услуг участникам дорожного движения в пути следования. Основными организациями, занимающимися придорожным обслуживанием путешественников в Республике Беларусь, являются: мотели, гостиницы, кемпинги, станции технического обслуживания (СТО) и автозаправочные станции (АЗС), мойки, объекты торговли и общественного питания. Особенностью функционирования придорожного сервиса в республике является регулирование его деятельности со стороны государства. Это связано с пониманием его важной роли в развитии национального туризма и с необходимостью улучшения его состояния [7,8,9].

Количество объектов придорожного сервиса Республики Беларусь, представлено на рисунке 3.

Тем не менее, современное состояние системы придорожного обслуживания в Республике Беларусь нельзя признать удовлетворительным. Так, потребность в АЗС покрыта на 60%, в объектах, осуществляющих продажу продуктов питания, - 55%; в охраняемых стоянках – на 50%. Большинство объектов придорожного сервиса страны оказывают потребителям, как правило, всего одну-две услуги, в то время как в Западной Европе – от семи до десяти [7,10,11].

В развитии придорожного сервиса Республика Беларусь всегда была на шаг впереди России. В Беларуси первыми создали документ по размещению объектов придорожного сервиса с утверждением нового кодекса. Кодекс «Автомобильные дороги. Размещение и обустройство сервиса» является нормативным актом, регулирующим особенности и принципы размещения объектов придорожного сервиса на автомагистралях. В России подобный документ появился на год позже.

Выводы

Учет наиболее инновационных решений развития придорожного сервиса за рубежом и внедрение их в РФ очевидно позволит уменьшить вероятность появления нежелательных событий и исключить основные недостатки в развитии придорожной инфраструктуры такие как:

- неравномерность размещения придорожных объектов вдоль трасс;
- узкий спектр предоставляемых услуг;
- отсутствие продуманной концепции и единых стандартов работы, низкий уровень обслуживания;
- неразвитость системы информационного обеспечения участников транспортного процесса об объектах придорожного сервиса.

Литература

1. Амосова Д.В. Придорожный сервис России и мировой опыт / Д.В. Амосова, М.И. Шаров // Современные технологии и научно-технический прогресс. - 2014. - Т.1, № 1 - с. 38.
2. Морозов А.Г., Лазарев Ю.Г., Логистика придорожного сервиса / А.Г. Морозов, Ю.Г. Лазарев // Техничко-технологические проблемы сервиса. 2015. № 4(34). С.77–82.
3. Валиев В.Х. Стратегический взгляд по развитию придорожного сервиса в регионах России / В.Х. Валиев, Н.М. Блаженкова // Современные проблемы науки и образования. - 2015. - № 1 - С. 821.
4. Евсеева А. А., Бунтина Д. К. Стратегический аспект развития придорожного сервиса в России // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2013. – Т. 3. – с. 2816–2820;
5. Лазарев Ю.Г. Транспортная инфраструктура (Автомобильные дороги). Монография – LAP LAMBERT, Германия: 2015.С. 173.
6. Федоров В.П. Стратегия долгосрочного развития магистральных автомобильных дорог / В.П. Федоров, Н.В. Шаталова // Транспорт Российской Федерации. - 2009. – № 2 (21), – с. 20-22.
7. Трацевская Л. Ф. Придорожный сервис в Беларуси: национальный и региональный аспект // Электронная библиотека студента – 2014.
8. Лазарев Ю.Г., Анализ правовых и экономических аспектов применения опытно-экспериментальных полигонов на действующей сети автомобильных дорог. Техничко-технологические проблемы сервиса. 2016. № 2 (36). С. 52-56.
9. Ермошин Н. А., Егошин А.М., Лазарев Ю.Г., Змеев А.Т. Проблемы и методологические аспекты организации дорожной деятельности в интересах военной безопасности государства. //Монография, С.-Пб.: ВА МТО- : ООО «Р-КОПИ», 2017. 164 стр.
10. Морозов А.Г. Математическая модель оказания технической помощи на основе логистики сервиса ассистанс / А.Г. Морозов, Ю.Г. Лазарев, С.В. Уголков // Вестник Московского автомобильно-дорожного государственного технического университета (МАДИ). 2015. № 2 (41). С. 85-92.
11. Брайла Н.В., Лазарев Ю.Г., Романович М.А., Симанкина Т.Л., Улыбин А.В. Современные проблемы строительной науки, техники и технологии. Учебное пособие / Санкт-Петербург, 2017. 141 стр.

УДК 625.7

ОБОСНОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОТРЕБНОСТИ В АВТОБУСАХ ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ МЕЖДУНАРОДНЫХ АВТОБУСНЫХ ПЕРЕВОЗОК

С.В.Кириллов¹, Н.Н.Романов²

¹Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21;

²Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований МТО ВС РФ),
191123, Санкт-Петербург, Воскресенская наб., 10А

Данная статья посвящена анализу существующих обоснований рациональной потребности в автобусах для организации международных автобусных перевозок в регионе и описывается методика определения этой потребности с достаточной точностью, используя экономические показатели.

Ключевые слова: критерии эффективности, рациональная потребность, международный автобусный маршрут, численность пассажиропотока, провозная способность, транспортное направление.

RATIONALE NEED BUSES FOR INTERNATIONAL BUS TRANSPORTATION

S. V. Kirillov, N. N. Romanov

St. Petersburg state University of Economics (SPbGEU), 191023, St. Petersburg, st. Sadovaya, 21
Research Institute (military system researches MTO the armed forces);
191123, St. Petersburg, st. Voskresenskaya, 10A

This article is devoted to analysis of existing justifications of the rational requirements on buses for international bus transport in the region and describes the method of determining this need with sufficient accuracy using economic indicators.

Keywords: criteria of efficiency, rational need, the international bus route, number of passengers, the carrying capacity of the transport direction.

¹Кириллов Сергей Васильевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой инженерных дисциплин, СПбГЭУ, тел.: 8(812)368-40-64, e-mail: dept.ktm@unicon.ru;

²Романов Николай Николаевич – доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, Научно-исследовательский институт (военно-системных исследований МТО ВС РФ), тел. 8 (812)578-82-22, e-mail: vamto_7@mil.ru.

Организация международных автобусных перевозок в настоящее время осуществляется аналогично междугородным сообщениям с учетом специфических требований международного и национального транспортного законодательства различных стран и значительной продолжительности рейса автобуса достигающей нескольких суток (особенно для туристских перевозок). Участниками этого рынка услуг являются и крупные транспортные предприятия, и индивидуальные предприниматели. Всем им необходимо иметь надёжные обоснования рациональных потребностей автобусов в определённое время и в «определённом месте» чтобы правильно планировать перевозки пассажиров, а значит получать прибыль и успешно конкурировать.

Имея достоверные обоснования рациональной потребности в автобусах можно рационально привлекать инвестиции, участвовать в конкурсах и тендерах на перевозки или маршруты. Крупные пассажирские автопредприятия постоянно используя оптимальное количество автобусов на маршрутах, снижат издержки без снижения качества услуг по международным пассажирским перевозкам в регионе. Контролирующие органы смогут предотвратить чрезвычайные ситуации на маршрутах международных автобусных перевозок, подготовив под ожидаемый пассажиропоток соответствующие мероприятия.

Имеющиеся методики для оптимизации основаны на учёте многих критериев эффективности. Таких как подвижность и плотность населения, затраты на приобретение, эксплуатацию, ремонт автобусов и затраты самих пассажиров на поездки, технические характеристики транспортных средств, маршрутов движения, остановочных пунктов, интервал движения автобусов, закономерности формирования пассажиропотоков, климатические условия, нормативные требования по безопасности дорожного движения, перевозки пассажиров и экологии. Глубокий анализ всех этих данных, несомненно, приводит к объективному обоснованию возникающих проблем по организации международных автобусных перевозок, а варьирование их значениями позволяет назначить мероприятия для рациональной потребности автобусов при перевозке пассажиров. Однако

необходимо признать, что эти мероприятия будут терять актуальность очень быстро, даже за период от проведения измерений до получения результатов исследования. Да и не малых затрат различных ресурсов (статистов, средств измерения и обработки полученных данных) требует только один цикл исследований [1, 2, 3, 4, 5].

С другой стороны, если использовать процедуры построения обобщенного (интегрального) показателя эффективности организации перевозок [6,7], уменьшение времени цикла обоснования потребности в автобусах будет незначительным, так как всё равно придётся работать с большим массивом данных – частными показателями эффективности.

Выход из создавшейся ситуации нам представляется следующим. Необходимо выбрать наиболее объективные критерии эффективности путём декомпозиции целей и составить из них целевую функцию.

Допустим, регион имеет несколько транспортных направлений в автобусном международном сообщении. Обозначим их через: $N_1, N_2, \dots, N_i, \dots, N_n$, где N_n – число возможных транспортных направлений. Так, например, Санкт-Петербург и Ленинградская область имеют три международных транспортных направления: в Скандинавию, в страны Балтии и Белоруссию.

На каждом направлении представляется возможным использовать несколько маршрутов для организации автобусных пассажирских перевозок.

Нумерацию маршрутов на -ом транспортном направлении обозначим через $M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{ij}, \dots, M_{im}$. Тогда общее возможное количество международных автобусных маршрутов на всех направлениях региона можно выразить зависимостью:

$$M_{\text{общ}} = (M_{11} + M_{12} + \dots + M_{1j} + \dots + M_{1m}) + (M_{21} + M_{22} + \dots + M_{2j} + \dots + M_{2m}) + \dots + (M_{n1} + M_{n2} + \dots + M_{nj} + \dots + M_{nm}). \quad (1)$$

Рассматривая сферу международных пассажирских перевозок автобусами, следует выделить из них два основных вида, а именно, международные автобусные перевозки туристов и международные перевозки пассажиров

по регулярным автобусным линиям. Кроме того, при организации перевозок следует учитывать нерегулярные перевозки пассажиров и туристов, нерегулярные пассажирские коммерческие перевозки и специализированные шоп-туры. Обозначим через Q_{ijk} – численность пассажиропотока -той составляющей на j -м маршруте i -го транспортного направления. Тогда за период времени h общую численность пассажиропотока на j -м маршруте i -го направления можно выразить зависимостью:

$$Q_{ijt} = (Q_{ij11} + Q_{ij12} + \dots + Q_{ij1t} + \dots + Q_{ij1h}) + (Q_{ij21} + Q_{ij22} + \dots + Q_{ij2t} + \dots + Q_{ij2h}) + \dots + (Q_{ijk1} + Q_{ijk2} + \dots + Q_{ijkt} + \dots + Q_{ijkh}) + \dots + (Q_{ijr1} + Q_{ijr2} + \dots + Q_{ijrt} + \dots + Q_{ijrh}). \quad (2)$$

Пусть Z_{ijd} – число автобусов -го типа на j -м маршруте i -го направления, C_{ijd} – вместимость автобуса d -го типа. Тогда за период времени h провозная возможность автомобильного предприятия по -м маршруту составит:

$$W_{ij} = (Z_{ij11} \cdot C_{ij11} + Z_{ij12} \cdot C_{ij12} + \dots + Z_{ij1d} \cdot C_{ij1d} + \dots + Z_{ij1s} \cdot C_{ij1s}) + (Z_{ij21} \cdot C_{ij21} + Z_{ij22} \cdot C_{ij22} + \dots + Z_{ij2d} \cdot C_{ij2d} + \dots + Z_{ij2s} \cdot C_{ij2s}) + \dots + (Z_{ijt1} \cdot C_{ijt1} + Z_{ijt2} \cdot C_{ijt2} + \dots + Z_{ijtd} \cdot C_{ijtd} + \dots + Z_{ijts} \cdot C_{ijts}) + \dots + (Z_{ijh1} \cdot C_{ijh1} + Z_{ijh2} \cdot C_{ijh2} + \dots + Z_{ijhd} \cdot C_{ijhd} + \dots + Z_{ijhs} \cdot C_{ijhs}). \quad (3)$$

Для эффективного осуществления транспортного процесса необходимо, чтобы провозная способность автопредприятия по -му маршруту i -го транспортного направления рационально соответствовала объему пассажиропотока по данному направлению. Исходя из этого показателями эффективности транспортного процесса при перевозке пассажиров автобусами могут быть, с одной стороны, показатели, характеризующие объем выполненных перевозок, а с другой стороны – надежность их выполнения, определяющая стабильность и полноту удовлетворения потребности граждан в международных автобусных перевозках.

В ходе функционирования системы международных автобусных перевозок, как величина пассажиропотока, так и провозная способность автопарка не остаются постоянными, а изменяются во времени в широких пределах. Поэтому в системе возможны состояния, когда пассажиропоток будет превышать провозные возможности подразделений автопредприятия по конкретным маршрутам и направлениям, иными словами, возможны состояния, когда система вынуждена отказывать желающим в перевозках.

При формировании системы международных автобусных перевозок в регионе исключительно важно располагать данными, характеризующими объемы пассажиропотоков по всем возможным маршрутам транспортных направлений. Изучение данного вопроса показывает, что объемы пассажиропотоков на всех без исключения направлениях изменяется в широких пределах.

Допустим Q_{ijt}^B и Q_{ijt}^H – соответственно верхняя и нижняя границы допуска объема пассажиропотока, то есть максимальное и минимальное количество пассажиров, подлежащих перевозке за определенный период (сутки, неделя, месяц, год). Тогда поле допуска определяется зависимостью:

$$\Delta Q_{ijt} = Q_{ijt}^B - Q_{ijt}^H, \quad (4)$$

а его центр будет равен:

$$Q_{ijt}^H = (Q_{ijt}^B + Q_{ijt}^H)/2. \quad (5)$$

Соответственно W_{ijt}^x – центр фактического поля допуска провозной возможности системы за определенный период (сутки, неделя, месяц, год).

Для того чтобы в системе не было отказов, провозная способность системы должна превышать объем пассажиропотока в течение заданного периода. Однако в этом случае определенная часть автобусов не будет использоваться по назначению, что может привести к значительному снижению эффективности использования транспортных средств.

Для определения рационального уровня укомплектования автопредприятий автобусами при формировании системы международных автобусных пассажирских перевозок возникает необходимость использования экономических показателей. С этой целью обозначим потери

денежных средств от невыполненного объема и несвоевременности пассажирских перевозок на j -м маршруте i -го направления через P_{ij} , а потери денежных средств от простоев и нерационального использования автобусного парка – через q_{ij} . Тогда представляется возможным составить уравнение, функционально выражающее зависимость суммарных потерь от среднеквадратического отклонения провозной способности системы:

$$U_{ij} = P_{ij} \cdot F\left(\frac{Q_{ijt}^B - W_{ijt}^x}{\sigma_{ij}}\right) + q_{ij} \cdot (1 - F((Q_{ijt}^H - W_{ijt}^x)/\sigma_{ij})), \quad (6)$$

где σ_{ij} – среднеквадратическое отклонение провозной способности системы на j -м маршруте i -го направления; F – интеграл Лапласа в пределах от $-s$ до Q_{ijt}^H .

Возьмем от выражения (6) первую производную $f'(\sigma_{ij})$, применим правило дифференцирования интеграла по переменной, входящей в его предел и приравняем полученный результат к нулю. В итоге получаем:

$$P \cdot e^{-\frac{(Q_{ij}^B - W_{ij}^x)^2}{2\sigma_{ij}^2}} - q \cdot e^{-\frac{(Q_{ij}^H - W_{ij}^x)^2}{2\sigma_{ij}^2}} = 0. \quad (7)$$

Преобразуем выражение (7) к виду:

$$\frac{q_{ij}}{P_{ij}} = e^{-\frac{(Q_{ij}^H - W_{ij}^x)^2 - (Q_{ij}^B - W_{ij}^x)^2}{2\sigma_{ij}^2}}. \quad (8)$$

Из данного выражения вытекает:

$$\frac{W_{ijt}^x - Q_{ijt}^H}{\sigma_{ij}} = \frac{\sigma_{ij}}{\Delta Q_{ij}} (\ln q_{ij} - \ln P_{ij}). \quad (9)$$

Принимая закономерное для нормального закона распределения случайной величины положения о том, что в диапазон разброса случайной величины с высокой степенью достоверности укладывается 6σ , получаем выражение:

$$W_{ijt}^{\text{опт}} = Q_{ijt}^H + \frac{\sigma_{ij}}{6} (\ln q_{ij} - \ln P_{ij}). \quad (10)$$

Анализ итоговой зависимости (10) показывает, что если потери от невыполнения объема перевозок равны потерям от простоя транспортных средств, то тогда оптимальное

значение провозной способности автопредприятия по j -му маршруту i -го направления определяется математическим ожиданием случайной величины объема пассажиропотока за период h . В противном случае они выражаются суммой составляющих второй части уравнения (10).

Расчеты показывают, что внедрение уравнения (10) в практику работы автопредприятий позволит получить значительный эффект от всех видов деятельности предприятия и в том числе от организации международных автобусных пассажирских перевозок.

Литература

1. Конышин Д.В., Ситников В.М., Мачинский В.В. Метод потенциалов при решении транспортной задачи // Научно-практический журнал Национальные приоритеты России // серия 1 «Наука и военная безопасность». 2016. №4 (7). С 65-72.
2. Щербаков Л.М. Эффективность междугородних автобусных перевозок в условиях функционирования рынка транспортных услуг. Вестник ИрГТУ №3(50), с. 63-66.
3. Яценко С.А. Методика обследования спроса на автобусы особо малой вместимости на примере г. Иркутска. Вестник ИрГТУ №3(110), с. 163-168.
4. М.Р. Якимов, Ю.А. Попов Транспортное планирование: Практические рекомендации по созданию транспортных моделей городов в программном комплексе PTV Vision® VISIM — М.: Логос, 2014. — С. 200.
5. Сильянов В.В., Домке Э.Р. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц. Учебник для студ. вузов. - 2-е изд., стер. - М.: Академия, 2008. - 352 с.
6. Ермошин Н.А., Лазарев Ю.Г. Многокритериальная оптимизация в задачах транспортного планирования. Научно-технический журнал «Технико-технологические проблемы сервиса» №1(39), 2017. СПбГЭУ, с.58-62.
7. Лазарев Ю.Г. Технология транспортных процессов. / Ю. Г. Лазарев, Е.Б. Сеницына, С.В. Уголков // Учебное пособие / Санкт-Петербург, 2016. 56 с.

К ВОПРОСУ КОНЦЕПЦИИ РАЗВИТИЯ РОССИЙСКОЙ ВЫСШЕЙ ШКОЛЫ

Г.В. Лепеш

*Санкт-Петербургский государственный экономический университет (СПбГЭУ),
191023, Санкт-Петербург, ул. Садовая, 21*

В статье на основании анализ основных моделей обучения в системе высшего образования, проводимого различными авторами, проводится анализ состояния и тенденций развития российского высшего образования. Проводится сопоставление слабых и сильных сторон различных моделей обучения, рекомендуется создание комплексной модели на основе развития сетевой модели образования.

Ключевые слова: высшее образование, массовизация, модель обучения, Интернет, модернизация образования, стратегия развития.

TO THE QUESTION OF THE CONCEPT OF DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN HIGHER SCHOOL

G. V. Lepesh

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21*

In article on the basis the analysis of the main models of training in system of the higher education which is carried out by various authors is carried out the analysis of a state and tendencies of development of the Russian higher education. Comparison weak is carried out and strengths of various models of training, creation of complex model on the basis of development of network model of education is recommended.

Keywords: the higher education, massovization, training model, Internet, modernization of education, development strategy.

References

1. Lepesh G. V. Setting and the solution of scientific and technical problems in nontechnical higher education institution.//Technical-niko-technological problems of service. –2014, No. 1(27), pp. 3 – 5.
2. Lepesh G. V. Quality of education and high school science. Technical and technological problems of service. – 2013. No. 2(24), pp. 3 – 5.
3. Klyachko T. L. The higher education: it is more, better or cheaper?//Demoscope Weekly. 2016. No. 669-670.URL: <http://demoscope.ru/weekly/2016/0669/demoscope669.pdf> (date of the address 01.05.2017)
4. Lepesh G. V. The place of an application-oriented bachelor degree in system of training for the sphere of service. Technical-niko-technological problems of service. –2015. No. 3(33), pp. 3 – 5.
5. Lepesh G. V. Application of informatsionnykh tekhnologii by preparation engineering кадров.//Tekhniko-tekhnologicheskiye problems of service. –2016. No. 3(37), pp. 14 – 23
6. Sukhenko N. V. Development of the Russian model of training in system of the higher obrazovaniya./the Bulletin of the Nizhny Novgorod university of N. I. Lobachevsky. Series Social sciences, –2011, No. 2 (22), pp. 61-65.
7. Lepesh G. V. Training of specialists in the field of energy efficiency as the priority task about-razovaniya.//Technical and technological problems of service. –2014 No. 2(28), pp. 3 – 5.
8. Lepesh G. V. Activation of training of experts to housing sector. Technical and technological problems of service. 2014 No. 3(29), of Pp. 3 – 5.
9. Balatsky E. V., Ekimova N. A. The market of the higher economic education in Russia: from rationing to квазидемпингу.//Problems of development of system of the higher education, [text] of URL: ww.diss.seluk.ru (date of the address 01.05.2017).
10. Non-linear model of the Russian higher education in the macroregion: theoretical concept and practical opportunities: the monograph / G. E. Zborovsky, P. A. Ambarova, V. S. Katashinskikh, etc. / under the editorship of G. E. Zborovsky. – Yekaterinburg: Humanities university, 2016. – 336 pp.s.
11. Bekarev A. M. Market of knowledge: anatomy of sales and moral collisions / A.M. Bekarev//Safety of the person, society, the nature in the conditions of globalization as a phenomenon of science and practice. Part 1. Moscow-Yoshkar-Ola: MapГТУ, –2005. pp. 17.
12. Lepesh G. V. System training on service napravleniyam.//Technical and technological problems of service. No. 1(31), 2015, pp. 3 – 5.

13. Lepesh G. V. Increase in a role of innovative technological centers in the modern conditions of implementation of job oriented obuche-niya.//Technical and technological problems of service. 2016, No. 1(35), pp. 3 – 5
14. Lepesh G. V. Formation of scientific and pedagogical school as factor of structural improvement byuz.//Technical and technological problems of service. -2017, No. 1(39). Pp. 14 – 17
15. Lepesh G. V. Scientific activities in strategic tasks present problems.//Technical and technological problems of service. –2012, No. 1(19). Pp. 3 – 6.

DIAGNOSTICS OF TECHNICAL CONDITION OF ELEMENTS OF THE CHASSIS OF THE BOEING-777 PLANE BY METHODS OF NONDESTRUCTIVE CONTROL

A.A. Koloskov, D.A.Ivanov

Saint-Petersburg state university of civil aviation, 196210, st. Petersburg, str. Pilotov, 38

This article is dedicated to the evaluation of the influence of the absence in the program of the maintenance of the elements of the system of chassis of aircraft Boeing-777 the nondestructive methods of control to the detection of defects in their initial stage.

Keywords: the program of maintenance, the nondestructive methods of control, the detection of defects.

References

1. Lepesh, G.V. Operating control and diagnostics of the equipment / G. V. Lepesh, V. N. Kurtov, N. G. Motylev and other//Technical and technological problems of service. – 2009. No. 3(9). pp. 8 – 16.
2. Lepesh, G.V. Modern methods and diagnostic aids of the equipment of engineering systems of buildings and constructions.//Technical and technological problems of service. – 2015. No. 4(34). pp. 3 – 8.
3. Lepesh G. V. Diagnostics and complex service of technical systems and equipment of buildings.//Technical and technological problems of service. – 2016. No. 1(35). pp. 6 – 16.
4. Ivanov D. A., Zasukhin O. N. Processing by the pulsing gas stream high-strength and spring staly//Engine-building. – SPb., 2014, No. 3, pp. 34-36.
5. Bulychev A. V., Ivanov D. A. Impact of gas-pulse processing on structure, properties and tension of metal products//Technology of metals. – M., 2013, No. 11, pp. 30-33.
6. Ivanov D. A., Zasukhin O. N. Use of the pulsing subsonic gas stream for increase in operational properties of metal products//Technology of metals. – M., 2015, No. 1, pp. 34-38.
7. Ivanov D. A., Zasukhin O. N. Increase in corrosion resistance constructional staly gas-pulse processing//Technology of metals. – M., 2015, No. 10, pp. 27-31.
85. Ivanov D. A., Zasukhin O. N. The directions of improvement of technology of processing of metal materials the pulsing gas streams//Technical and technological problems of service. – SPb., 2015, No. 4, pp. 15-21.
9. An extract from the Program of Reliability for 32 Section ATA LLC Severny Veter, NWSEngineering Department, 2016 – 14 with.
10. An extract from the Program of Reliability for 32 Section ATA PJSC Aeroflot-Russian Airlines, AFL Engineering Department, 2016 – 9 with.

IMPROVING THE SYSTEM STORM SEWER OF THE CITY

N. L. Velikanov, V. A. Naumov, S. I. Koryagin, A.V. Mojsa

The Baltic federal university of Immanuel Kant (BFU of Kant), 236041, Kaliningrad, st. A. Nevsky, 14;

Kaliningrad State Technical University (KSTU), 236000, Kaliningrad, Sovetsky Ave., 1;

Municipal budgetary institution "Hydrotechnik" of the urban district "City of Kaliningrad" (MBU "Gidrotekhnik"), 236000, Kaliningrad, st. Leonova, 36b

It is shown that the main problems of rainwater drainage networks are: unsatisfactory technical condition of reservoirs, local damage to the pipe network of rain water drainage and wells, contamination of wells and reservoirs sands and household waste. In order to remote control the installed equipment at the facilities of the wastewater system, the introduction of supervisory control.

Keywords: storm sewer, drainage system, amount of precipitation

References

1. SP 32.13330.2012. Sewerage. External networks and facilities. Actualized edition of SNiP 2.04.03-85 (with Change No. 1). Approved by the Ministry of regional development of the Russian Federation (Minregion of Russia) from December, 29th, 2011 N 635/11 and put into effect from 01 January 2013
2. SP 129.13330.2012. A set of rules. External networks and constructions of water supply and sanitation. Approved by the Ministry of regional development of the Russian Federation from June 30, 2012, No. 275, introduced with effect from 1 January 2013.

3. SP 66.13330.2011. A set of rules. Design and construction of discharge networks of water supply and sanitation with the use of high-strength pipes made of spheroidal graphite cast irons. Approved incatom of the Ministry of regional development of the Russian Federation of 28 December 2010 № 821. Introduced with effect from may 20, 2011.
4. SP 40-102-2000. Design and installation of TRU-aprovados water supply systems and Sewerage systems made of polymer materials. General requirements. Approved and recommended for use as a regulatory document by the resolution of the State Committee of the Russian Federation for construction and housing and communal complex of 16.08.2000 No. 80.
5. SP 131.13330.2012. A set of rules. Building climatology. Approved by the Ministry of regional development of the Russian Federation from June 30, 2012, No. 275, introduced with effect from 1 January 2013
6. Recommendations on designing the systems of collection, otvetetion and treatment of surface runoff from residential areas, enterprises, and determining the conditions of its discharge into water bodies. Approved 28.12.2005 FGUP NII VODGEO. Moscow-2006.
7. Methodical instructions on calculation of volume of in-accepted (reserved) surface runoff. Approved by the Ministry of construction and housing and communal services of Russia from 17.10.2014 No. 639/PR.
8. The calculation capacity of the receiving tank of Sewerage pumping stations with submersible pump-governmental units / Water supply and sanitary engineering / Diaghilev M. A.,2009, No.11.
9. The calculation capacity of the receiving tank of the sewage-pumping station operational / Water supply and sanitary appliances / Diaghilev M. A.,2014, No. 1.
10. Barinova G. M. Kaliningrad oblast: Kli-Mat. – Kaliningrad: Publishing house "Yantarny Skaz", 2002. – 196 p.
11. Specialized arrays for climate-cal research [Electronic resource]. URL: http://www.meteo.ru/climate/sp_clim.php (date accessed: 01.01.2016).
12. The weather and climate. Weather archive [Electronic resource]. URL: <http://www.pogoda.ru.net/archive.php> (date accessed: 19.07.2016).
13. SP 131.13330.2012. A set of rules. Building climatology. Approved by the Ministry of regional development of the Russian Federation from June 30, 2012, No. 275, introduced with effect from 1 January 2013
14. Surface water resources of the USSR. – Vol. 4, vol. 3. The Lithuanian SSR and Kaliningrad oblast of the RSFSR / Under the editorship of V. E. Vodogretsky. – L.: Hydrometeo-dates 1969. – 508 p.
15. Sewage pumping station (SPS). Design, manufacture, installation of sewage pumping stations [Electronic resource]. URL: http://www.flotenk.ru/products/kns/kns_flotenk/ (accessed: 17.06.2017).

THE SPECIFICITY OF FUNCTIONING OF THERMAL AND TECHNOLOGICAL EQUIPMENT IN VARIOUS INDUSTRIES

D.S. Agapov
St. Petersburg State Agrarian University (SPbGAU),
 196605, *St. Petersburg, Pushkin, Petersburg Highway, 2*

Based on the position that the perfection of the system as a whole is determined by the perfection of its individual elements, formulated a methodological approach to solving the problem of increasing technical versenta energy systems as a whole on the basis of pinch analysis and its parametric optimization

Key words: energy saving technologies inch analysis for heat-current, heat transfer, thermochemical Converter, structural optimization, cogeneration plant.

References

1. Gayduk V. I., improving the competitiveness of livestock production. / Gayduk V. I., Voronov S. S. // Mechanization and electrification of agriculture. – 2004. – No. 1. – S. 56-59.
2. Lepes G. V. life-support systems of buildings and structures/ G. V. Lepis. –SPb.:Publishing house FINEC, 2014. – 437 p.
3. Parlak, The Effect of Heat Transfer on Performance of the Diesel Cycle and Exergy of The Exhaust Gas Stream In a LHR Diesel Engine at the Optimum Injection Timing, Energy Conversion and Management. – 2005. – No46(2). 167-179.
4. Agapov D. S. Structural and parametric optimization of systems for industrial heating and process equipment./ dissertation for the degree of doctor of technical Sciences.// 05.14.04 — Industrial heat power engineering. SPb. 2016. – 344 with5. Lazzaretto, A., Tsatsaronis, G., On the calculation of efficiencies and costs in thermal systems, In: Proceedings of the ASME Advanced Energy Systems Division, AES. – 1999. – Vol.39.
6. Reddy BV, Ramkiran G, Kumar KA, Nag PK. Exergy analysis of a waste heat recovery steam generator. Int J Heat Mass Transf. – 2002. – No. 1807–1814.

7. Lozano, M.A. and Valero. A Theory of the exergetic cost, *Energy – The International Journal*. – 1993. – No18. pp.939–960.
8. Bejan A. Entropy generation minimization. The new thermodynamics of finite-size devices and finite-time processes. *Appl. Phys.* – 1996. No79. 1191–1218.
9. Bejan A. Fundamentals of exergy analysis, entropy generation minimization, and the generation of flow architecture. *Int J Energ Res.* – 2002. – No. 26(7). 545–565.
10. Linhoff, B. and Alanis, F.J. Integration of a New Process Into an Existing Site: A Case Study in the Application of Pinch Technology, *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*, ASME Transactions. – 1991. – Vol. 113, pp. 159–169.
11. Kemp, I. C. Some Aspects of the Practical Application of Pinch Technology Methods. *Transactions of the Institute of Chemical Engineers, Part A* – 1991. – No. 69 nov, pp. 471–479.
12. Durmayaz A, Sogut OS, Sahin B, Yavuz H. Optimization of thermal systems based on finite-time thermodynamics and thermoconomics. *Progr Energ. Combust Sci* – 2004. – No. 30.pp. 175–217.
13. Bourhis, G., Leduc, P. Energy and exergy balances for modern diesel and gasoline engines. *Oil & Gas Science and Technology*. – 2010. Rev. IFP, – Vol. 65, – No. 1, pp. 39-46.
14. Smith R., Klemes., Tovazhnyanskiy L. L. the fundamentals of integration of thermal processes. – Kharkov: NTU "KHPI". – 2000. – 458 p.
15. Gaggioli, R.A., Sama, D.A., Qian, S. and El-Sayed, Y.M. Integration of a new process into an existing site: A case study in the application of exergy analysis. *Journal of Engineering for Gas Turbines and Power*. – 1991. – No113(2), 170–180

ASSESSMENT OF THE OPERATION OF THE MOUNT ARMOR TRUNK CABLE OF HYDROACOUSTIC STATION IN CONDITIONS OF AXIAL TENSION

G. V. Lepesh, K. A. Egorov, A. N. Shirokih

Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU), 191023, Saint-Petersburg, Sadovaya street, 21
Joint-stock company "Central scientific-research Institute materials" (JSC "CRIM"),
191014, Saint Petersburg, Paradnaya street;
Joint-stock company "Scientific-production center of "Sonar", (JSC "SPC"Sonar"),
196608 St. Petersburg, Pushkin. Podbelskogo highway, 9, lit. A

The analysis of stress-strain state (VAT) of parts of the mount armor trunk cable of hydroacoustic station using CAD/CAE technologies implemented in the software package ANSYS. The developed approach allows to significantly reduce the system resources in the theoretical analysis of the VAT. By varying the design parameters of the machine selected the most rational parameters of the parts and the clamping force that provides the highest load-bearing capacity.

Keywords: cable, protective armor, tensile forces, stress-strain state, contact stresses, strength.

References

1. Lepes G. V., Egorov K. A. Building characteristics of the process of removing the protrusions of the deformable elements on the basis of the numerical experiment. *Technical and technological problems of service*. - №3 (37), 2016. pp. 30 -35.
2. Workshop in econometrics with the use of MS EXCEL. Linear models linear and multiple, regressive / Shalabanov.To., Roganov, D. A. – Kazan: TISBI, 2008. -53 p.
3. Orlov P. I. design basics: reference and teaching aid. In 2 vol. KN. 1/Under the editorship of P. N. Uchaeva. -Ed.3-e, Rev. - M.:Mashinostroenie, 1988.-560 p.

INCREASE IN ENERGY EFFICIENCY OF FUEL AND ENERGY INSTALLATIONS

G.V. Lepesh, S.K. Luneva

St. Petersburg State Economic University (SPbGEU)
191023, St. Petersburg, st.Sadovaya, 21

Bases of decrease in thermal losses and increase in energy efficiency fuel of the burning installations are stated. Assessment of efficiency of a number of actions for energy saving and energy efficiency is carried out.

Keywords: energy efficiency, utilization of thermal energy, rekuperation, condensation, stream turbolization.

References

1. The energy strategy of Russia till 2030 (утв. Order of the Government of the Russian Federation of November 13, 2009 of N 1715-p).
2. The Federal Law of November 23, 2009 No. 261• FZ "About energy saving and about increase in energy efficiency and about introduction of amendments to separate acts of the Russian Federation".

3. The state program of the Russian Federation "Energy saving and increase e/e until 2020" (утв. order of the Government of the Russian Federation of December 27, 2010 No. 2446-r).
4. State program of the Russian Federation "Energy efficiency and development of power", (утв. order of the Government of the Russian Federation of April 3, 2013 No. 512-r).
5. Lepesh G. V. Equipment and technology of life support of buildings and constructions / G.V. Lepesh. – SPb.: Publishing house СПбГЭУ, 2014. – 330 pages.
6. Lepesh, G. V. Energy saving in the systems of life support of buildings and constructions / G.V. Lepesh. – SPb.: Publishing house СПбГЭУ, 2014. – 437 pages.
7. The help document on the best available technologies of ensuring energy efficiency. – 2009/[Electronic resource]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/60d/energo_1303.pdf (date of the address 05.09.15).
8. Lepesh G. V., Luneva S.K. Increase in efficiency of heatexchange devices.//Tekhni-co-tekhnologicheskkiye problems of service. / 2017.-№1(39). Page 42-57.

INCREASE IN EFFICIENCY OF USE OF THE ELECTRIC POWER

A.G. Lepesh, T.V. Potemkina

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21*

In article questions of improvement of quality of the electric power by compensating of reactive power and a resonance in a circuit are considered.

Keywords: losses of the electric power, the active and reactive power, electrical power factor, capacitor batteries, resonance.

References

1. FZ of 23 November 2009 No. 261-FZ "On energy saving and on raising energy efficiency and on amendments to certain legislative acts of the Russian Federation".
2. The state program of the Russian Federation "energy Efficiency and energy development" (app. by order of the Government of the Russian Federation of 3 April 2013 No. 512-R).
3. Lepech, G. V. energy Saving in the life-support systems of buildings and structures /G. V. Lepis. – SPb.: Publishing house FINEC, 2014. – 437 p.
4. GOST 13109-97. "Electrical energy. Compatibility of technical equipment. Nor-we are electric power quality in power systems of General purpose".
5. GOST 32144-2013. "Electrical energy. Quality norms of electric energy in power supply systems of General purpose". The energy strategy of Russia until 2030 (approved. By order of the Government of the Russian Federation dated 13 November 2009 N 1715-R).
6. RD 34.09.101 -94. The standard instructions for electricity metering in its production, transmission and distribution. M: SPO ORGRES, 1995. 16. Reference document on best available techniques for energy efficiency. – 2009/[Electronic resource]. http://www.mnr.gov.ru/upload/iblock/60D/energo_1303.PDF
7. Lepes, Operational control and equipment diagnostics/G. V. Lepis, V. N. Kurts, N. G.Motylev, etc.// Technical and technological problems of service. -2009. -№3(9). Pp. 8 – 16.
8. 9. Vorotnitsky E. V., Kalinkin M. A.. Calculation, regulation and reduction of electricity losses in electric networks. / Educational-methodical manual. – M.: IPK of civil service, 2000

GENERAL RECOMMENDATIONS FOR THE MANAGEMENT CENTRE OF THE PILOT LANDFILLS TO THE NETWORK OF FEDERAL ROADS

Yu.G. Lazarev, D.Yu. Kirillova

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21;*

Saint Petersburg Polytechnic University (SpBPU), 195251, Saint-Petersburg, Polytechnic, 29

Provided rationalization for recommendations for organization of control center of experimental testing roads for the purpose of increasing awareness about the condition of auto-roads and factors affecting on opportunity to increase repair interval of up to 12 years.

Keywords: testing roads, control center, road structure, testing program, monitoring area, the network of Federal roads.

References

1. Ilyin, S. V. A unique object on the highway / S. V. Ilyin, E. V. Uglava, S. S. Saenko//Highways. – 2014. – No. 03(988). – Pp. 10-13.
2. Lazarev Yu. G. Transport infrastructure (Highways). The monograph – LAP LAMBERT, Germany: 2015. 173 p.

3. Fedorov V. P. Strategy of longterm development of the main highways / Accusative Fedorov, N. V. Shatalov//Transport of the Russian Federation. - 2009. – No. 2 (21). – Pp. 20-22.
4. Lazarev Yu. G., the Analysis of legal and economic aspects of application skilled эксперименталь - mental proving grounds on the operating network of highways. Technical and technological problems of service. 2016. No. 2 (36). Pp. 52-56.
5. Yermoshin N. A., Egoshin A. M., Lazarev Yu. G., Zmeev A. T. Problems and methodological aspects of the organization of road activity for the benefit of military safety of the state.//The monograph, S. - PB.: VA MTO:- LLC R-KOPI, -2017. 164 pp.s.
6. Brayla N. V., Lazarev YU.G., Romanovich M. A., Simankina T. L., Ulybin A. V. Modern problems of construction science, equipment and technology. Manual / St. Petersburg, 2017. 141 p.
7. Lazarev Yu. G., Formation of a technique of an assessment of the accuracy (reliability) of design of road clothes of nonrigid type. / Yu. G. Lazarev, P. A. Petukhov, M. V. Shirokikh / Messenger of civil engineers. 2016. No. 2 (55). Pp. 38-46.
8. Laaksonen R., the Method of calculation of deformation of a road design in various climatic conditions Finland / Rainer Laaxonen, Harry Kivikoski, to Markk Pineymyaki, Leena Korkiyala-Tang-ttu de Yoko Tortkvist//Tiehallinnon selvityksiä 57/2004. The reduced report – Yukh Ryata, editors-consultants – to Jari Pichlamajaki and Markk Piyenimyaki, editing, Russian – Olga Dovgu-levich. FINNMAP company of Infr, 2016. 25 p.
9. Morozov A. G., Lazarev Yu. G., Logistics of roadside service / A.G. Morozov, Yu. G. Lazarev//Tekh-niko-tekhnologicheskkiye problems of service. 2015. No. 4(34). Pp..77-82.

ANALYSIS OF INTERNATIONAL EXPERIENCE OF DEVELOPMENT OF ROADSIDE SERVICE ON THE NETWORK OF FEDERAL ROADS

Yu.G. Lazarev, C.E. Ziancina

*Saint-Petersburg state economic University (SPbGEU),
191023, Saint-Petersburg, st. Sadovaya, 21.*

This article is devoted to analysis of international experience of development of roadside service and innovative solutions for the development of roadside service with the purpose of their introduction in Russia.

Keywords: roadside service, logistic approach, customer service, innovative solutions development of roadside service.

References

1. Amosova D. V. Roadside service of Russia and international experience / D. V. Amosova, M. I. Sha-rov//Current technologies and scientific technical progress. - 2014. - T.1, No. 1. - Pp. 38.
2. Morozov A. G., Lazarev Yu. G., Logistics of roadside service / A.G. Morozov, Yu. G. Lazarev//Technical and technological problems of service. -2015. No. 4(34). Pp..77-82.
3. Valiyev V. H. A strategic look on development of roadside service in regions of Russia / V. H. Wa-liyev, N. M. Blazhenkov//Modern problems of science and education.-: 2015. - No. 1 - Pp. 821.
4. Evseeva A. A., Buntina D. K. Strategic aspect of development of roadside service in Russia//the Scientific and methodical online magazine "Kontsept". – 2013. – T. 3. – Pp. 2816-2820;
5. Lazarev Yu. G. Transport infrastructure (Highways). The monograph – LAP LAMBERT, Germany: 2015. Pp. 173.
6. Fedorov V. P. Strategy of long-term development of the main highways / Accusative Fedo-rov, N. V. Shatalov//Transport of the Russian federation. - 2009. – No. 2 (21). – Pp. 20-22.
7. Tratsevskaya L. F. Roadside service in Belarus: national and regional aspect//Electronic library of the student – 2014.
8. Lazarev Yu. G., the Analysis of legal and economic aspects of application of skilled experimental proving grounds on the operating network of highways. Technical and technological problems of service. -2016. No. 2 (36). Pp. 52-56.
9. Yermoshin N. A., Egoshin A. M., Lazarev Yu. G., Zmeev A. T. Problems and methodological aspects of the organization of road activity for the benefit of military safety of the state.//The monograph, S. - PB.: VA MTO:- LLC R-KOPI, 2017. 164 p.
10. Morozov A. G. Mathematical model of technical assistance on the basis of service logistics ассистанс / A. G. Morozov, Yu. G. Lazarev, S. V. Ugol'kov//the Messenger of the Moscow automobile and road state technical university (MADI). 2015. No. 2 (41). Pp. 85-92.
11. Brayla N. V., Lazarev Yu.G., Romanovich M. A., Simankina T. L., Ulybin A. V. Modern problems of construction science, equipment and technology. Manual / St. Petersburg, 2017. 141 p.

RATIONALE NEED BUSES FOR INTERNATIONAL BUS TRANSPORTATION

S. V. Kirillov, N. N. Romanov

*St. Petersburg state University of Economics (SPbGEU), 191023, St. Petersburg, st. Sadovaya, 21;
Research Institute (military system researches MTO the armed forces),
191123, St. Petersburg, st. Voskresenskaya, 10A.*

This article is devoted to analysis of existing justifications of the rational requirements on buses for international bus transport in the region and describes the method of determining this need with sufficient accuracy using economic indicators.

Keywords: criteria of efficiency, rational need, the international bus route, number of passengers, the carrying capacity of the transport direction.

References

1. D. V., Sitnikov, V. M., Machinski V. V. the Method of potentials in the solution of the transport problem//Scientific-practical journal of National priorities of Russia//series 1 "Science and military security". 2016. No 4 (7). With 65-72.
2. Shcherbakov, L. M., Efficiency of intercity bus transportation in the conditions of functioning of the transport market. Vestnik of ISTU No3(50), pp. 63-66.
3. Yatsenko S. A. Technique of examination of the demand for buses of especially small capacity, on the example of Irkut ska. Vestnik of ISTU No 3(110), pp. 163-168.
4. R. M. Yakimov, Yu. A. Popov Transport planning: Practical recommendations for the creation of transport models for cities in the software package PTV Vision® VISIM — M.: Logos, 2014. – p. 200.
5. Silyanov V. V., Domke E. R. Transport and operational qualities of roads and city streets. The textbook for the stud. universities. - 2nd ed. erased. - M.: Academy, 2008. - 352 p.
6. Ermoshin N. A. Lazarev Yu. G. Multiobjective optimization in problems of transport planning. Scientific-technical journal "Technical and technological problems of service" 1(39), 2017. pp. 58-62.
7. Lazarev Yu. G. Technology of transport processes. / Y. G. Lazarev, E. B., Sinitsyn, S. V. Parts // tutorial / St. Petersburg, 2016. 56 p

**ТРЕБОВАНИЯ
К МАТЕРИАЛАМ, ПРИНИМАЕМЫМ ДЛЯ ПУБЛИКАЦИИ В НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОМ
ЖУРНАЛЕ
«ТЕХНИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕРВИСА»**

К публикации принимаются материалы научно-технического содержания по актуальным проблемам техники и технологии сервиса машин, приборов и инженерных систем жилищно-коммунального хозяйства, бытового обслуживания, дизайна, экологии, личного и общественного транспорта, не предназначенные для публикации в других изданиях.

Материалы, публикуемые в журнале, должны обладать несомненной новизной, относиться к вопросу проблемного назначения, иметь прикладное значение и теоретическое обоснование и быть оформлены по соответствующим правилам (см. <http://unecon.ru/zhurnal-ttps>).

Материалы для публикации должны сопровождаться: электронной версией статьи, представленной в формате редактора MicrosoftWord (CD-R, CD-RW, DVD или отправленные по e-mail).

Статья должна содержать следующие реквизиты:

- индекс универсальной десятичной классификации литературы (УДК);
- название статьи на русском и английском языках;
- фамилию имя отчество автора (авторов) полностью с указанием должности, звания, телефона и электронного адреса;

- полное наименование организации с указанием почтового индекса и адреса;
- аннотацию из 10 – 30 слов на русском и английском языках;
- 3 – 7 ключевых слова или словосочетания на русском и английском языках;
- текст статьи (8 – 15 страниц (14 шт.), номера страниц не указываются) на русском языке;
- литература (библиографические ссылки даются в конце текста в порядке упоминания по основному тексту статьи, в тексте в квадратных скобках указывается порядковый номер). Внутритекстовые, подстрочные и затекстовые библиографические ссылки (списки литературы) должны оформляться в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 – 2008 «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».

Статья представляется в электронном виде (на электронном носителе или высылается электронной почтой по адресу: GregoryL@yandex.ru).

При оформлении статьи должны соблюдаться следующие требования.

При наборе текста используется шрифт TimesNewRoman. Интервал текста кратный, без дополнительных интервалов. Лишние пробелы между словами не допускаются. Форматирование текста (выравнивание, отступы, переносы, интервалы и др.) должно производиться автоматически.

Иллюстрации представляются в графических редакторах MSWindows. Все иллюстрации сопровождаются подрисуночными подписями (не повторяющимися фразы-ссылки на рисунки в тексте), включающими номер, название иллюстрации и при необходимости – условные обозначения.

Рисунки выполняются в соответствии со следующими требованиями:

- масштаб изображения – наиболее мелкий (при условии читаемости);
- буквенные и цифровые обозначения на рисунках по начертанию и размеру должны соответствовать обозначениям в тексте статьи;
- размер рисунка – не более 15x20 см;
- текстовая информация и условные обозначения выносятся из рисунка в текст статьи или подрисуночные подписи.

Иллюстрации (диаграммы, рисунки, таблицы) могут быть включены в файл текста или быть представлены отдельным файлом.

Все **графики, диаграммы** и прочие встраиваемые объекты должны снабжаться числовыми данными, обеспечивающими при необходимости их (графиков, диаграмм и пр.) достоверное воспроизведение.

Формулы должны быть созданы в редакторе формул MS Equation. Защита формул от редактирования не допускается. Формулы следует нумеровать в круглых скобках, например, (2). Величины, обозначенные латинскими буквами, а также простые формулы могут быть набраны курсивом. Все латинские буквы в формулах выполняются курсивом, греческие и русские – обычным шрифтом, функции – полужирным обычным.

Термины и определения, единицы физических величин, употребляемые в статье, должны соответствовать действующим национальным или международным стандартам.

На последней странице рукописи должны быть подписи всех авторов. Статьи студентов, соискателей и аспирантов, кроме того, должны быть подписаны научным руководителем.

Редакция не ставит в известность авторов об изменениях и сокращениях рукописи, имеющих редакционный характер и не затрагивающих принципиальных вопросов.

Итоговое решение об одобрении или отклонении представленного в редакцию материала принимается редакционным советом и является окончательным.

ISSN 2074-1146

Журнал зарегистрирован
в Федеральной службе по надзору в сфере связи, информационных тех-
нологий и массовых коммуникаций.
Свидетельство о регистрации средства массовой информации –
ПИ № ТУ 78-01571 от 12 мая 2014 г.

Журнал входит в Российский индекс научного цитирования
http://elibrary.ru/title_about.asp?id=28520

Электронная версия журнала расположена по адресу:
<http://uneccon.ru/zhurnal-ttps>
Подписной индекс в каталоге «Журналы России» –95008.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Технико-технологические проблемы сервиса **№2(40)/2017**

Подписано в печать 21.06.2017 г. Формат 60 x 84 ¹/₈. Бумага офсетная. Гарнитура TimesNewRoman. Печать офсетная. Объем 12,0 п.л. Тираж 500 экз. Заказ № 786

Адрес издателя и типографии: 191023, Санкт-Петербург, Садовая ул., д. 21
Отпечатано на полиграфической базе СПбГЭУ.