

Законодательное собрание Камчатского края
Правительство Камчатского края
Министерство рыбного хозяйства Камчатского края
Федеральное агентство по рыболовству
Российский союз инженеров
Международный союз машиностроителей
Камчатский государственный технический университет
Донецкий национальный технический университет
Кубанский государственный университет
Азербайджанская государственная морская академия
Усинский филиал Ухтинского государственного технического университета

ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА: ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ

*Материалы
Третьей международной научно-технической конференции
(26 ноября 2020 г.)*

Издательство



КамчатГТУ

Петропавловск-Камчатский
2021

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08
Т38

Ответственный за выпуск

О.А. Белов,
кандидат технических наук

Редакционная коллегия

*О.А. Белов, к.т.н. (председатель);
С.Н. Царенко, к.т.н.; С.Ю. Труднев, к.т.н.; В.А. Швецов, д.х.н.;
Т.А. Клочкова, д.б.н.; О.А. Белавина, к.х.н.; Е.П. Белова, к.п.н.;
О.В. Ольхина; Р.Г. Болотова*

Т38 **Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития** : материалы Третьей международной научно-технической конференции (26 ноября 2020 г.) / отв. за вып. О.А. Белов. – Петропавловск-Камчатский : КамчатГТУ, 2021. – 132 с.

ISBN 978-5-328-00411-4

В сборник включены материалы Третьей международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития», отражающие научные и практические результаты в области технической эксплуатации водного транспорта.

Освещены актуальные проблемы, представлены современные достижения и перспективные направления развития в таких областях, как судовождение, судостроение и судоремонт, электротехнические комплексы и системы, информационные технологии и моделирование, технологические машины и оборудование, наукоемкие технологии изготовления и ремонта деталей судов и судовых агрегатов, подготовка инженерных кадров.

Авторами представленных докладов являются преподаватели, ведущие сотрудники научно-исследовательских институтов, аспиранты и студенты высших учебных заведений, ведущих научную и образовательную деятельность в сфере водного транспорта.

УДК 656.6:629.5
ББК 39.42-08

ISBN 978-5-328-00411-4

© КамчатГТУ, 2021
© Авторы, 2021

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

Белова Е.П., Белов О.А. Обзор иностранных научных публикаций по теме защиты от коррозии	5
Белова Е.П. Анализ соотношения использования иностранных языков в научных публикациях.....	9
Дейнекин А.В., Паламарчук В.А. Организационно-техническое обеспечение пожаробезопасности на судах.....	13
Македонский А.А. Сравнительный анализ аналоговых и цифровых судовых АТС.....	17
Марченко А.А. Построение модели на основе схемы главного тока гребной электрической установки на постоянном токе	20
Рябовол Н.С., Макиевский К.А. Анализ и предупреждение травматизма на рыбопромысловых судах.....	25
Труднев С.Ю. Опыт короткого замыкания трансформатора.....	28
Ястребов Д.П., Позолотина Л.А., Климова А.В., Белов О.А. Биообращение электродов сравнения протекторной защиты при длительном стояночном режиме судна: химический анализ и влияние на эксплуатацию.....	31
Ястребов Д.П., Швецов В.А., Рогожников А.О., Кузнецов Г.В., Ушакевич А.П. К вопросу выбора электродов сравнения для контроля протекторной защиты стальных корпусов морских судов	36
Ястребов Д.П., Белов О.А., Швецов В.А., Рогожников А.О., Тарабанов Б.В. К вопросу использования судовых электродов сравнения, выполненных из нержавеющей стали.....	41

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аврейцевич И.С., Труднев С.Ю. Разработка устройства контроля вылова водных биоресурсов	47
Барабанова Е.А., Выговтов К.А., Романова Е.А., Федоровская А.Н. Перспективы полностью оптической коммутации.....	50
Данилов Д.С., Марченко А.А. Проблемы обеспечения рекуперации электрической энергии для преобразователей частоты в гребных электрических установках на переменном токе	52
Исламбеков М.А., Труднев С.Ю. Разработка мини-аэростата для мониторинга рек на небольшие расстояния.....	56
Рак А.Н. Особенности электроснабжения морских судов от береговых источников электрической энергии	59
Тимохин К.Д., Марченко А.А. Разработка методов функциональной диагностики судового малооборотного дизеля	65
Ушаков Н.О., Сибикина И.В., Космачева И.М. Информационная безопасность в системах электронного документооборота	70
Шарошкин В.М., Сибикина И.В., Космачева И.М. Внедрение технологии blockchain в систему электронного документооборота	75

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

Афошин А.А. Обеспечение технологичности литейной оснастки для вакуумно-пленочной формовки по аддитивному процессу послойного нанесения полимерной нити.....	80
Игнаткина Е.Л., Костенко А.В. Анализ креплений подвешенного пути шахтной подвесной монорельсовой дороги.....	83

Иодис В.А., Алтухов А.А., Сарайкина И.П. Обзор централизованных систем комфортного кондиционирования воздуха на судах.....	87
Иодис В.А., Безруков А.В., Сарайкина И.П. Азотный перерабатывающий комплекс для получения биологических добавок из створок двухстворчатых моллюсков.....	90
Куличков С.В. Применение керамических материалов для повышения надежности узлов трения технологического оборудования.....	93
Михайлов Д.А., Пичко А.П., Пичко Н.С., Шейко Е.А., Михайлов А.Н. Особенности маршрутизации изделий в разветвляющихся поточно-пространственных технологических системах.....	96
Царенко С.Н., Костенко А.В., Рахимов Ю.Г. Особенности расчета напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов на основе модели круглой пластины.....	102

СЕКЦИЯ. 4. НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ И СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

Витренко В.А., Ефимов А.А., Михайлова А.Д., Черных В.В. Особенности гиперболоидного инструмента, применяемого для обработки валов и зубчатых колес.....	105
Давиденко А.И., Давиденко А.А., Давиденко Е.В. Исследование структурных трансформаций ответственных изделий и конструкций методом акустической эмиссии.....	109
Матвиенко С.А., Михайлов А.Н., Лукичев А.В., Стрельник Ю.Н. Теоретические основы системного технологического обеспечения свойств модифицированного поверхностного слоя.....	113
Матвиенко С.А., Лукичев А.В. Структура и классификация модифицированных поверхностных слоев деталей машин.....	118
Солодовник М.Д., Волков И.В., Ясуник С.Н., Кузнецова М.Н. Термоупругая устойчивость составной оболочки в процессе ее изготовления ротационным способом.....	123
Трибунская Р.М., Жуков С.А. Концепция фракталов в оценке механизма упрочнения деталей из серого чугуна методами поверхностного пластического деформирования.....	128
Список организаций – участников конференции и их адреса.....	132

СЕКЦИЯ 1. СУДОВОЖДЕНИЕ, СУДОСТРОЕНИЕ И СУДОРЕМОНТ

УДК 620.19:629.5.023

Е.П. Белова, О.А. Белов

*Камчатский государственный технический университет,
г. Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: kuropyatnikova@mail.ru*

ОБЗОР ИНОСТРАННЫХ НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЙ ПО ТЕМЕ ЗАЩИТЫ ОТ КОРРОЗИИ

Комплексная защита кораблей и судов от коррозии является общемировой проблемой, и поиску путей ее решения уделяется большое внимание. Учеными различных стран проводится большой объем научных исследований в этом направлении. Результаты этих исследований, как правило, публикуются в англоязычных научных изданиях, что ограничивает возможность широкого доступа к ним русскоязычных исследователей. Для ознакомления с мировым опытом организации защиты кораблей и судов от коррозии предлагается обзор некоторых иностранных научных публикаций по данной теме.

Ключевые слова: корпус судна, электрохимическая коррозия, катодная защита, техническое обслуживание, техническая эксплуатация, надежность, безопасность.

E.P. Belova, O.A. Belov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: kuropyatnikova@mail.ru*

REVIEW OF FOREIGN SCIENTIFIC PUBLICATIONS ON THE TOPIC OF CORROSION PROTECTION

Comprehensive protection of ships and vessels from corrosion is a global problem and a great amount of attention is paid to searching for the ways to solve it. Scientists from various countries conduct a large amount of scientific research in this field. The results of these studies are usually published in English-language scientific publications, that limits the possibility of wide access to them by Russian-speaking researchers. To get acquainted with the world experience in the organization of protection of ships and vessels from corrosion we offer a review of some foreign scientific publications on this topic.

Key words: ship hull, electrochemical corrosion, cathodic protection, maintenance, technical operation, reliability, safety.

В настоящее время многие не только отечественные, но и зарубежные авторы озабочены темой защиты кораблей, судов и других морских инженерных сооружений от коррозии.

Одной из последних таких публикаций является статья «Оценка эксплуатационных характеристик металла корпуса судна в морской воде» («Performance assessment of ship hull metal in seawater media»), опубликованная в Journal of Engineering Research and Reports в августе 2020 г. учеными Нигерийского федерального университета нефтяных ресурсов (Federal University of Petroleum Resources). Ключевой целью данного исследования является определение влияния коррозии на характеристики материалов, применяемых для эксплуатации в морской воде, а именно – стали и алюминия. Результат эксперимента показал более высокую скорость коррозии образца стали без покрытия. Устройство для определения твердости МПТЭСН 320 показало, что образец металла из мягкой стали без покрытия имел среднее значение твердости по Бринеллю 112 до погружения и 105 – после погружения в морскую воду. В то же время прочность на растяжение непокрытого образца стали ухудшилась от 414 до погружения до 403 – после

погружения в морскую воду. Непокрытый образец алюминия дал среднее значение по Бринеллю от 163 до 152 до и после погружения в морскую воду соответственно. Прочность на растяжение алюминиевого образца составила от 776 до 744 до и после погружения. Таким образом, авторы данного исследования продемонстрировали, что алюминий более устойчив к коррозионному воздействию [1].

Проблема коррозии в морской среде рассматривается также в статье «Надежность системы при коррозии набора корпуса судна» («System reliability of corroded ship hull girders»). Основное внимание в данной статье уделяется оценке надежности, которая является незаменимой задачей при планировании технического обслуживания судов, подверженных коррозии. Для простоты и вычислительной эффективности обычно предполагается, что надежность судна вычисляется как компонентная задача надежности, определяемая пластическим обрушением секции одного отсека в центральной части судна. Однако данный подход может привести к недооценке вероятности отказа судна, так как существует несколько отсеков секций, подверженных очень высоким продольным изгибающим моментам в центральной части корпуса судна, и выход из строя любой секции может привести к потере всего судна. Отказы отдельных секций частично зависят от пространственной изменчивости переменных величин, в том числе таких как коррозия. В данной работе используется усовершенствованный метод надежности первого порядка (МНПП), недавно разработанный для оценки надежности судовых систем. Разработанная методика продемонстрирована на двухкорпусном балочном танкере, подвергнутом коррозии. Методом параметрического анализа изучено влияние пространственной зависимости между переменными, связанными с различными участками, на вычисленную вероятность отказа судна. Полученные результаты, описанные в данной работе, свидетельствуют о том, что зависимость погрешности модели прогнозирования изгибной способности, связанной с различными участками, существенно влияет на вероятность разрушения, и недооценка этой вероятности может быть нетривиальной [2].

Дэвид Чичи (David Chichi) и Йордан Гарбатов (Yordan Garbatov) в своей статье «Анализ модернизации конструкции корпуса танкера, поврежденного коррозией» («Retrofitting analysis of tanker ship hull structure subjected to corrosion»), определяют целью исследования изучение эффективности восстановления конструктивных возможностей двухкорпусного балочного нефтяного танкера с учетом вероятности выхода из строя и затрат, связанных с дооснащением или заменой элементов корпуса. Симулятор, основанный на методе Монте-Карло, моделирует неравномерность коррозионной деградации. В качестве дооснащения рассматриваются четыре варианта: замена всей пластины, армирование двумя продольными ребрами жесткости, двумя продольными ребрами жесткости и двумя поперечными ребрами жесткости, фланцевое усиление отверстия. В статье отобраны и проанализированы 12 сценариев. Для оценки надежности различных решений во времени используется метод надежности первого порядка. Для сравнения сценариев и определения наиболее подходящего проводится оценка затрат и связанных с ними рисков. Также сравниваются наиболее выгодные и наихудшие решения с учетом вероятности отказа, стоимости и сопутствующих рисков [3].

Также проблема коррозии рассматривается в статье «Использование информационных технологий при оценке коррозионных повреждений корпуса судна» («The use of information technology in the assessment of the corrosion damage on ship hull»). Морские суда рассчитаны на рабочий цикл от 20 до 25 лет. На протяжении всего этого периода необходимо, чтобы суда имели бесперебойную работу, что в первую очередь означает безопасное плавание. В настоящее время для технического обслуживания и контроля состояния корпусов судов на различных этапах, от проектирования до непосредственной эксплуатации, используются как современные компьютерные программные средства, так и различное измерительное оборудование. Коррозия является одним из ключевых факторов деградации корпуса судна. В статье представлен обзор информационных технологий и методик, используемых в процессах измерения степени коррозионного повреждения корпуса судна, мониторинга состояния и прогнозной аналитики [4].

Фернандо Б. Майнер (Fernando B. Mainier) и Витор Перассолли (Vitor Perassolli) в статье «Коррозия корпуса судна, вызванная неисполнением и отсутствием технического обслуживания по импульсному току катодной защиты» («Ship hull corrosion caused by default and lack of maintenance on the impressed current cathodic protection») описывают пример коррозии корпуса судна, начавшейся после длительного выхода из строя системы катодной защиты импульсным током. При этом в статье не подвергаются сомнению или критике конструкция, установка, техническое

обслуживание и эксплуатация системы катодной защиты. Основная задача заключается в демонстрации главных аспектов коррозионного процесса, который произошел во время длительной, более шести месяцев, стоянки судна на якоре. Для того чтобы сохранить судно в нормальном рабочем состоянии, были проведены ремонтные работы, которые заключались в очистке водой под давлением, сварке (сварочный ремонт) поврежденной обшивки корпуса, нанесении краски и установке цинковых анодов в катодной защите [5].

Вопросы катодной защиты рассматриваются в статье «Катодная защита корпусов судов гальваническими анодами: проектная оценка» («Cathodic protection of ship hull galvanic anodes: design evaluation») авторами Ф. Дарчивио (F. Darchivio), А. Кассанелли (A. Cassanelli), С. Симисон (S. Simison). Они отмечают, что существует большой опыт гальвано-катодной защиты корпусов судов. Однако современные реалии остро ставят вопрос о необходимости сокращения затрат на ремонт. В целях совершенствования конструкции защиты от коррозии и увеличения срока службы судна большое внимание уделяется моделированию и пониманию электрохимии распределения тока. С практической точки зрения лучшим способом дооснащения проектных критериев была бы проверка реального расхода гальванических анодов во время операций замены во время нахождения судна на верфи в сухом доке для осмотра корпуса, который происходит один раз в два года. К сожалению, это не является стандартной процедурой. Для того чтобы сократить затраты на пребывания в сухом доке, аноды срезаются (вырезаются) и удаляются вскоре после того, как судно было очищено и подготовлено к ремонту. Целью данной статьи является оценка эффективности работы системы катодной защиты на примере нескольких судов с целью совершенствования конструкции. В статье оценивались индивидуальный расход, коррозионный потенциал и эффективность анодов. На основе полученных результатов была предложена новая конструкция [6].

Свой взгляд на проблему коррозии предложили представители индонезийского университета Ади Курниаван (Adi Kurniawan), Сутопо Пурвон Фитри (Sutopo Purwono Fitri), Мухаммад Рахман (Muhammad Rahman). В статье «Экспериментальное исследование термоэлектрического генератора как источника импульсного тока катодной защиты корпуса судна» («Experimental Study of Thermoelectric Generatoras Electrical Source of Impressed Current Cathodic Protection for Ship Hull») они подчеркивают, что катодная защита импульсным током – это действенный метод защиты металлических структур, таких как корпус судна, от коррозии с помощью электрического тока. Для того чтобы обеспечить работу системы катодной защиты импульсным током, авторами исследования был разработан прототип термоэлектрического генератора. Планируется, что данный генератор будет использовать выхлопные газы от главного двигателя судна. Метод проведения данного исследования заключается в сборке прототипа термоэлектрического генератора с последующим проведением эксперимента по изучению потенциальной энергии прототипа. После этого вычисляется необходимая для питания системы катодной защиты импульсным током мощность термоэлектрического генератора. Предмет данного исследования – судно «Wellboat», предназначенное для перевозки живой рыбы, с намокаемой поверхностью корпуса площадью 396,08 м². Вывод данного исследования состоит в том, что скорость коррозии на корпусе судна может быть замедлена с помощью метода катодной защиты импульсным током без необходимости дополнительных затрат или расхода топлива для производства электрической энергии [7].

В статье «Обзор морской защиты от коррозии с акцентом на катодную защиту и покрытия» («An overview of marine corrosion protection with af ocuson cathodic protection and coatings») приводятся примеры различных способов предотвращения коррозии материала. При этом говорится, что катодная защита и покрытия являются очень популярными методами защиты от коррозии. Однако каждый метод имеет свои преимущества и недостатки. Опыт показал, что наиболее эффективным методом предотвращения коррозии является сочетание катодной защиты с лакокрасочными покрытиями. Эта комбинация может обеспечить очень хорошую защиту в течение длительного периода времени. В данной работе основное внимание уделяется комбинированному использованию как катодной защиты, так и покрытий для судов. Расчет системы катодной защиты судна представлен с использованием данных, предоставленных производителями покрытий и верфями [8].

Одной из самых обширных работ в данной области является публикация Маринелы Панаётовой (Marinela Panayotova), Йордана Гарбатова (Yordan Garbatov) и Карлоса Соареса (Carlos Soares) «Коррозия сталей в морской среде, мониторинг и стандарты» («Corrosion of steels

in marine environment, monitoring and standards»). В этой работе рассматриваются факторы, определяющие коррозионные явления на уровне компонентов конструкционных сталей в морской среде. Проанализированы различные коррозионные явления, которые могут поражать конструкционную сталь при контакте с морской водой. Описаны различные формы коррозии стали. Обсуждается влияние состава стали и его вариаций на развитие коррозии. Также рассмотрены эксплуатационные факторы, влияющие на коррозию балластных систем, нефтяных танкеров и грузовых трюмов. Представлены различные модели коррозии и их способность прогнозировать ее развитие. Анализируются методы и средства мониторинга, испытаний и оценки коррозии. А также обсуждаются меры по предотвращению и контролю коррозии [9].

Таким образом, зарубежными учеными уделяется большое внимание не только организации защиты корпусов кораблей и судов от коррозии, но и вопросам восстановления корпусов, повышению их прочности и надежности после устранения коррозионных деформаций и разрушений. Также широко освещаются вопросы организации контроля за состоянием корпуса судна в процессе эксплуатации, в том числе с использованием информационных технологий и применением специальных автоматизированных комплексов. С учетом востребованности флотом эффективных систем автоматизированного контроля антикоррозионной защиты судов эта информация является особенно актуальной.

Литература

1. *Udosoh N.E., Awwal S.I.* Performance assessment of ship hull metal in seawater media // Journal of Engineering Research and Reports. – 2020. – № 15. – P. 50–56.
2. *Gong Ch., Frangopol D.* System reliability of corroded ship hull girders // Structure and Infrastructure Engineering. – 2019. – № 16. – P. 1–9.
3. *Chichi D., Garbatov Y.* Retrofitting analysis of tanker ship hull structure subjected to corrosion // Brodogradnja: Teorija i praksabrodogradnje i pomorsketehnikе. – 2019. – № 70. – P. 87–109.
4. *Ivocevic S., Bauk S.* The use of information technology in the assessment of the corrosion damage on ship hull // 23rd International Scientific-Professional Conference on Information Technology (IT). February 2018.
5. *Mainier F.B., Perassolli V.* Ship hull corrosion caused by default and lack of maintenance on the impressed current cathodic protection // IOSR Journal of Engineering. – 2014. – № 04. – P. 34–39.
6. *Darchivio F., Cassanelli A., Simison S.* Cathodic protection of ship hulls by galvanic anodes: design evaluation // Nace International. Corrosion 2209: Conference and Expo. January 2009. – P. 1–7.
7. *Kurniawan A., Fitri S.P., Rahman M.* Experimental Study of Thermoelectric Generator as Electrical Source of Impressed Current Cathodic Protection for Ship Hull // International Journal of Marine Engineering Innovation and Research. – 2017. – № 1 (3). – P. 143–148.
8. *Tezdogan T., Demirel Y.K.* An overview of marine corrosion protection with a focus on cathodic protection and coatings // Brodogradnja: Teorija i praksabrodogradnje i pomorsketehnikе. – 2014. – № 65. – P. 49–59.
9. *Panayotova M., Garbatov Y., Soares C.G.* Corrosion of steels in marine environment, monitoring and standards. – Safety and Reliability of Industrial Products, systems and Structures. – Taylor and Francis Group, London, 2010. – P. 369–413.

УДК 811.541

Е.П. Белова

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: kuropyatnikova@mail.ru*

АНАЛИЗ СООТНОШЕНИЯ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКОВ В НАУЧНЫХ ПУБЛИКАЦИЯХ

Один из ключевых вопросов языковой политики в области науки является проблема монополизации англоязычными источниками информации международного научного общения. На сегодняшний день лидерство английского языка во всех областях научных знаний является неоспоримым фактом. Развитие данной тенденции и ее влияние на современное международное и национальное общение в науке является предметом исследования данной статьи.

Ключевые слова: английский язык, языковая политика, международное общение, национальное общение, многоязычность.

E.P. Belova

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683006
kuropyatnikova@mail.ru*

THE COMPARATIVE ANALYSIS OF THE FOREIGN LANGUAGES USAGE IN SCIENTIFIC PUBLICATIONS

One of the issues of language policy in the scientific field is the problem of monopolization the international scientific community by English-language sources of information. Nowadays the leadership of the English language in all areas of scientific knowledge is an indisputable fact. Thus, the development of this tendency and its impact on the contemporary national and international scientific communication is the subject of the given article.

Key words: English language, language policy, international communication, national communication, multilingualism.

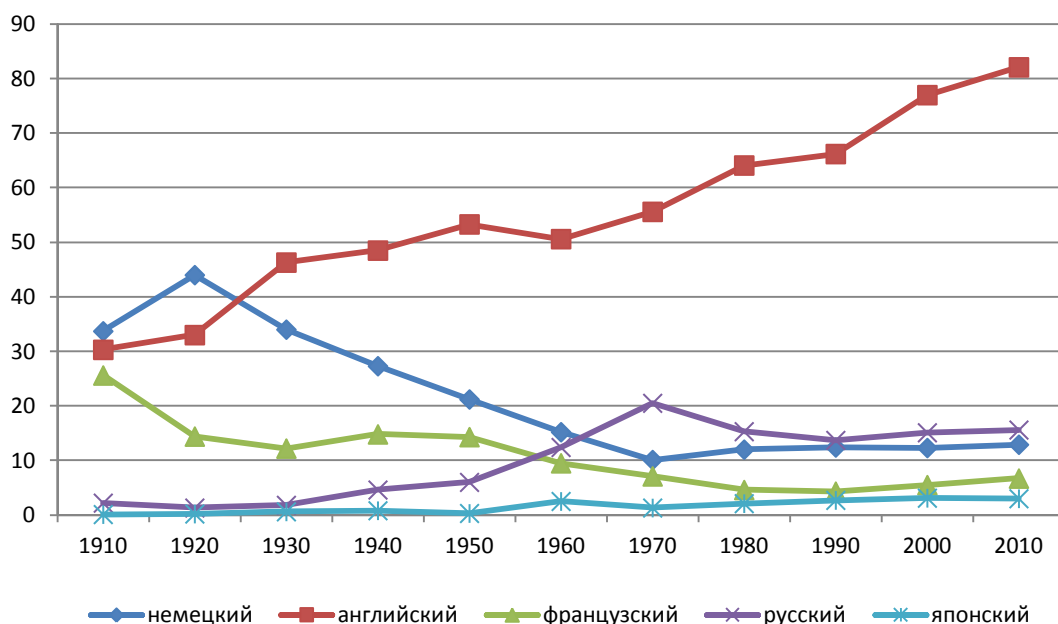
В контексте непрерывных изменений многоязычного мира современное международное и национальное общение в науке может быть сформировано в рамках модели социолингвистического конфликта асимметричных отношений и сдвига между языками на определенных уровнях иерархии, которые представляют собой дифференцированные отношения в области науки.

В работе [1] была представлена иерархическая модель глобальной языковой системы как галактики, ядром которой является английский как единственный глобально доминирующий язык. На следующем уровне мы обнаруживаем около десятка языков, среди которых немецкий, французский, русский, испанский, португальский, китайский, японский, арабский, хинди. Многие из них представляют языки бывших колониальных или региональных империй, на них говорят в более чем одной стране. На третьем уровне находится примерно сто языков. Это национальные или региональные языки с незначительным международным распространением. Подавляющее большинство языков, около 98%, относятся к четвертому уровню – это диалекты и языки малых народностей. Как правило, они даже не имеют официального статуса в тех странах, где используются. Эти языки почти никогда не появляются в научной литературе, так как их статус и языковой состав не подходят для выражения научной мысли и результатов исследований.

Таким образом, цель нашей статьи – рассмотреть один из ключевых вопросов языковой политики в области науки, который заключается в следующем: станет ли английский язык единственным допустимым языком не только международного, но и национального общения в многоязычной области науки, или же национальные и международные научные сообщества будут

противодействовать растворению многоязычия в монолингвизме и использовать плюрилингвизм как способ обогащения академического поля.

Обращаясь к анализу, проведенному в работе [2], мы видим, что процент публикаций на английском, немецком и французском языках примерно одинаковый в начале XX в. В 20-е годы количество публикаций на немецком языке значительно превосходит число публикаций на английском. Со второй половины XX в. процент работ, опубликованных на английском языке, начинает стабильно расти, тогда как употребление немецкого и французского сокращается. В то же время увеличивается и количество публикаций на русском языке во второй половине XX в. К началу XXI в. количество научных работ, изданных на английском языке, достигает 82%, работы на немецком и русском языках – около 12–15%, на французском – менее 10%. В графическом виде эти процессы представлены на рисунке.



Пропорциональное использование языков в научных публикациях в XX–XXI вв.

Английский язык также сохраняет свою лидирующую позицию относительно отдельных областей знания: будь то естественно-научное направление или гуманитарные науки. В соотношении с другими языками публикации на английском языке доминируют по всем основным научным направлениям, формируя общую англоязычную среду как единую платформу для обсуждения научных результатов. Очевидно, что возможности других языков в этом плане существенно ограничены, что вызывает определенные затруднения в продвижении научных результатов и получении мирового признания представителями научного сообщества других, не англоязычных стран. Наглядно процентная составляющая английского языка относительно других европейских языков представлена в таблицах 1 и 2 [3].

Таблица 1

Соотношение языков в публикациях по естественно-научному направлению

Язык	Биология	Химия	Физика	Медицина	Математика	Всего
Английский	92,6	83,2	94,8	88,6	93,3	90,5
Русский	1,9	3,8	0,2	1,6	3,2	2,1
Немецкий	1,1	1,9	0,9	2,2	0,3	1,3
Французский	1,4	0,7	0,4	1,9	2,1	1,3
Испанский	0,6	0,3	0,2	1,2	0,2	0,5
Португальский	0,3	0,1	0,1	0,6	0,1	0,2
Итальянский	0,3	0,1	0,1	0,2	0,1	0,2
Другие	1,8	9,9	3,3	3,7	0,7	3,9

Соотношение языков в публикациях по социально-гуманитарному направлению

Язык	Социология	История	Философия	Всего
Английский	85,8	79,4	86,3	83,8
Русский	1,7	2,4	1,7	1,9
Немецкий	4,4	5,3	3,1	4,3
Французский	4,2	5,0	5,7	4,9
Испанский	2,1	3,3	1,7	2,4
Португальский	0,2	0,5	0,4	0,4
Итальянский	0,9	3,1	0,4	1,5
Другие	0,7	1,0	0,7	0,8

Таким образом, к началу XXI в. английский становится доминирующим языком научных изданий. Важные различия возникают между естественными науками, с одной стороны, и гуманитарными науками, с другой, причем область последних сохраняет большую долю публикаций и на других языках. Это различие, хотя и незначительное в абсолютных числах в такого рода исследованиях, оказывается актуальным для языковой политики и стратегий в области науки. Фактически пропорциональный рост английского языка маскирует абсолютный рост публикаций на многих других языках, учитывая быстрое развитие науки в последние десятилетия в целом.

Сдвиг в сторону английского означает, что все большее число ученых, чей родной язык не является английским, переходят на английский для того, чтобы иметь возможность опубликовать свои работы. Свидетельство этого процесса мы наблюдаем непосредственно в том факте, что количество публикаций в англоязычных журналах авторов из неанглоязычных стран значительно выросло за последние десятилетия. Косвенные доказательства, подтверждающие сложившуюся ситуацию в том, что публикации на таких языках, как французский, немецкий, испанский или русский, все больше теряют свою привлекательность в качестве рабочего поля авторов, чей родной язык не является языком публикации. Таким образом, все большее число авторов склоняется к тому, что соответствующие научные данные должны быть опубликованы на английском языке, если они хотят получить признание высшего научного сообщества в своей области знаний [4].

Даже результаты исключительной актуальности и оригинальности, например в естественных науках или медицине, могут потеряться или остаться незамеченными, если они будут опубликованы на любом другом языке.

Современное превалирование английского языка в научных публикациях уже значительно сократило многоязычие в этой области и может лишить статуса международного языка науки любой другой язык. Цифры и прогнозы показывают смешанные сценарии будущего развития. Большинство из них, кажется, предполагают неизбежную монополию английского языка. Кроме того, многие эксперты представляют это как естественный процесс и побочный продукт глобализации. То есть, если вы хотите, чтобы результаты ваших исследований были прочитаны соответствующим международным научным сообществом, они должны быть опубликованы на английском языке. Является ли эта тенденция желательной или нет – основной вопрос международных и национальных споров, где многие действующие лица по понятным причинам принимают стороны, соответствующие их профессиональным интересам или языковым сообществам.

Так, например, ряд французских лингвистов [5] выступают в защиту плюрилингвизма в науке и высказываются против признания английского или какого-либо другого языка единственным международным языком науки, так как это повлечет за собой негативные последствия не только для французского языка, но и для роли французского научного вклада в целом. Если научные результаты французских ученых будут публиковаться исключительно на английском языке, французская наука потеряет видимость и признание на международной арене. Такая политика, кроме того, не позволит людям во всем мире изучать французский или любой другой язык, кроме английского.

Плюрилингвизм подразумевает межкультурную коммуникацию, в которой собственная позиция или академическая точка зрения признают, что другие перспективы и процедуры также являются частью возможного мирового знания. Другими словами, существуют другие действительные позиции и базы знаний, которые могут быть сформулированы в терминах разных языков, дискурсивных структур и культурных моделей, определяющих исследовательские парадигмы.

Таким образом, любые предложения в рамках языковой политики должны будут решать сложный вопрос о том, можно ли создать стабильные языковые области, которые признают английский язык единственным международным языком науки, с одной стороны, и определить ниши для других языков, в основном на внутринациональном уровне и для академического обучения, с другой.

Литература

1. *De Swaan A.* Words of the World. The Global language system. – Cambridge. – 2001.
2. *Ammon U.* Language planning for international scientific communication: An overview of questions and potential solutions // Current Issues in Language Planning. – 2006. – № 7 (1). – P. 1–30.
3. *Sandelin B., Sarafoglou N.* Language and scientific publication statistics // Language Problems and Language Planning. – 2004. – № 28 (1). – P. 1–10.
4. *Belov O.A., Tolstova L.A.* Modeling the process of training cadets for the formation of skills of technical operation // Bulletin of the State Maritime University. Admiral F.F. Ushakov. – 2016. – № 3 (16). – P. 78–81.
5. *Durand C.* If it's not in English, it's not worth reading! // Current Issues in Language Planning. – 2006. – № 7 (1). – P. 44–60.

А.В. Дейнекин, В.А. Паламарчук

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: alex.deinekin2001@gmail.com*

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПОЖАРОБЕЗОПАСНОСТИ НА СУДАХ

В данной статье рассматриваются системы пожаротушений на судах, типы систем пожаротушения, влияние их на безопасность экипажа, возможности борьбы за живучесть судна и вероятные последствия, к которым приводит несвоевременное обслуживание систем пожаротушения [1].

Ключевые слова: пожар, безопасность, защита, судно.

A.V. Deynekin, V.A. Palamarchuk

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky 683003
e-mail: alex.deinekin2001@gmail.com*

ORGANIZATIONAL AND TECHNICAL SUPPORT OF FIRE SAFETY ON SHIPS

This article discusses fire extinguishing systems on ships, types of fire extinguishing systems, their impact on the safety of the crew. Possibilities of fighting for the survivability of the vessel and probable consequences of late maintenance of fire extinguishing systems.

Key words: fire, safety, protection, ship.

Всем известно, что пожарная безопасность является неотъемлемой частью любого транспортного средства либо сооружения. Системы пожаротушения призваны не только предупредить экипаж о возникновении опасности, но и локализовать ее без последствий для экипажа или транспортного средства. Именно поэтому есть необходимость рассмотрения данной темы [2, 3].

Работа связана с анализом систем пожаротушения на судах с целью грамотного обеспечения и развития систем пожаротушения непосредственно на судах.

В противопожарных судовых системах существует масса разрядов обслуживающих механизмов, систем управления и контроля над ними. В их число входят дренчерные, спринклерные, водяные установки, углекислотные, порошковые, пенные системы пожаротушения, а также стационарные устройства ликвидации огня.

Для защиты от пожара машинных и насосных отделений всех видов судов их оборудуют установками и системами пенного пожаротушения. При больших размерах кораблей устанавливаются сразу несколько установок и систем, которые защищают свой участок на судне. Процесс создания пены осуществляется с помощью смесителя, где смешивается пенообразователь с водой (табл. 1). Пена подается через эжектор в место, где произошло возгорание. Ниже мы привели таблицу плотности пены для отдельного типа судна и отделения.

Таблица 1

Отношение пенообразователя к воде

Тип судна, отделение	Кратность пены
Морские суда, нефтеналивные танкеры	1 : 10 (низкая кратность)
Сухогрузы, рефрижераторные	1 : 50 – 1 : 150 (средняя кратность)
Машинные отделения, грузовые помещения	1 : 1 000 (высокая кратность)

Толщина пены составляет примерно 15–20 см при расходе 150 л на 1 м³, в количественном эквиваленте это 15 л воды на 0,75 л пенообразователя.

Порошковые системы пожаротушения обязательны к установке на судах, перевозящих взрывоопасные сжиженные газы. Активным веществом в системах данного типа пожаротушения являются: поташ, квасцы, углекислая сода, которые распыляются при помощи азота или инертного газа. Системы состоят из станций, в которых устанавливаются емкости с порошком, к которым присоединяют газовые баллоны. Данную систему устанавливают в отделения с электрооборудованием, в малярных отсеках, на газо- и химовозах и судах, которые перевозят легко воспламеняющиеся и взрывоопасные грузы.

Если вероятность возникновения пожара достаточно высокая, то суда оборудуют углекислотными системами пожаротушения, устанавливая их в машинных и грузовых отделениях. Такую систему запускают, если другим методом не удалось локализовать огонь.

Также возможно использование альтернативных средств пожаротушения. К ним относятся химические агенты – инертные газы, жидкости с высокой степенью испарения. Инертные газы поступают в газоочистительные аппараты, основанные на промывке газа жидкостью. Такую систему пожаротушения используют на сухогрузах, рефрижераторах, наливных танкерах. Легкоиспаряющиеся жидкости в системе тушения являются галоидированными углеводородами, смесями хладона и бромистого этила, которые находятся в емкостях с антикоррозионным покрытием, а подают их сжатым воздухом к форсункам в помещение, где начался очаг возгорания.

При помощи спринклерных систем осуществляется защита жилых помещений. В их функционал входит локализация очага и снижение температуры при пожаре. Спринклеры открываются при температуре свыше 60 градусов по Цельсию, и вода поступает через разбрызгиватели в помещение. В систему входят пневмогидравлические цистерны, трубопроводы и спринклеры, сигнально-контрольное устройство. Одновременно со срабатыванием системы тушения включается сигнализация, которая доводит до экипажа о возникновении пожара и его расположении.

Дренчерными системами пожаротушения оснащают танкеры, газовозы. При срабатывании системы включается насос, который качает воду из-за борта в трубопровод и потом к разбрызгивателям. Такая система обеспечивает охлаждение металлических частей и палубы.

Кроме всего перечисленного выше, системы судового пожаротушения могут работать по принципу водяных завес и водного орошения: разбрызгиватели устанавливают в подволок помещения, подключая к энергонезависимому насосу с автоматическим срабатыванием или к магистрали. Водяную завесу образуют при помощи щелевых распылителей, присоединенных к пожарной магистрали. Их используют в тех случаях, когда на судне невозможен монтаж огнестойких конструкций. Система пожарного орошения устанавливается на выходе из машинного отделения.

Также, проанализировав различные источники, мы составили таблицу применения различных средств пожаротушения для классов пожара (табл. 2).

Таблица 2

Средства тушения пожара относительно класса пожара

Класс пожара	Противодействие пожару
Пожары класса «В»: горение жидких веществ, их смесей и соединений	Пена, распыленная вода, порошковый огнетушитель, углекислота, хладоновая система
Пожары класса «С»: горение газообразных веществ и материалов	Компактные струи воды, огнетушащие порошки и порошковые огнетушители, хладоновая система
Пожары класса «D»: возгорания, связанные с щелочными и подобными металлами и их соединениями при их контакте с водой	Теплопоглощающие огнетушащие вещества, не вступающие в реакцию с горящими материалами
Пожары класса «E»: горение, возникающее при воспламенении находящегося под напряжением электрооборудования, проводников или электроустановок	Огнетушащие вещества, не являющиеся проводниками электричества

При правильном использовании и квалифицированной комплектации судов противопожарными системами экипаж и само судно защищаются от возможного возгорания. Поэтому для защиты от огня необходимо совместно использовать основные и альтернативные системы пожаротушения [4, 5].

При правильном исполнении существующих противопожарных правил пожара можно избежать, т. к. большинство пожаров на судне возникает из-за ненадлежащего монтажа, эксплуатации и несвоевременного обслуживания. Также для предотвращения пожара на судне требуется бдительность не только со стороны судовой администрации, но и экипажа в целом, особенно при наличии на судне огнеопасных грузов, и строгое выполнение противопожарных правил.

Пожар на судне надо предупреждать, не допускать, но если это почему-то не удалось, то необходимо принять все меры к тому, чтобы не дать пожару усилиться, распространиться, и к его ликвидации в кратчайший срок [6].

1 июля 2019 г. на российском научно-исследовательском глубоководном аппарате, который занимался изучением придонного пространства и дна Мирового океана в интересах Военно-морского флота России, вспыхнул пожар. Его причиной на глубоководном аппарате стало короткое замыкание. В результате погибли 14 моряков-подводников, которые отравились продуктами горения. Ликвидировать огонь удалось благодаря самоотверженным действиям команды. Инцидент произошел в российских территориальных водах. Аппарат был доставлен на военноморскую базу Североморск [7].

7 декабря 2015 г. в Санкт-Петербурге на «Северной верфи» на ремонтируемом военном корабле произошел хлопок без горения. Причиной взрыва стал газовый баллон. В результате один человек погиб, шесть были доставлены в больницу.

4 ноября 2014 г. пожар вспыхнул в кормовой части большого противолодочного корабля Черноморского флота «Керчь». Огонь охватил 80 кв. м площади. С помощью трех противопожарных катеров он был локализован. БПК «Керчь» находился на плановом ремонте и был пришвартован в Севастопольской бухте. Причиной пожара стал забытый в кубрике нагревательный прибор. Как итог этого случился пожар общей площадью 80 кв. м. В результате происшествия никто из военнослужащих и гражданского персонала завода не пострадал.

28 декабря 2007 г. начался пожар на ремонтном судне Министерства обороны РФ в порту Петропавловска-Камчатского. С борта судна были эвакуированы 48 человек. Один из них, вахтенный матрос-контрактник, был госпитализирован с ожогами дыхательных путей. Площадь пожара составила 200 кв. м. Его очаг располагался вблизи распределительного устройства в машинном отделении.

12 декабря 2019 г. в Мурманске при проведении ремонтных работ произошло возгорание на авианесущем крейсере «Адмирал Кузнецов». По предварительным данным, огонь возник в первом энергоотсеке. Пожар произошел из-за сварочных работ. Пострадали три человека.

Проанализировав случаи пожаров на судах, можно прийти к выводу, что косвенными, но при этом основными, являются человеческий фактор и несовершенство работы системы автоматического пожаротушения. От человеческого фактора, вызванного неподготовленностью персонала, избавиться практически невозможно, но от несовершенства средств автоматического пожаротушения в XXI в. избавиться можно.

Литература

1. Белов О.А., Парфенкин А.И. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 11–14.
2. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международ. науч.-техн. конф. (17–18 октября 2018 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 5–9.
3. Белов О.А., Марченко А.А., Труднев С.Ю. Анализ расчетно-аналитических методов прикладных задач технической безопасности // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 7–15.
4. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.
5. Белов О.А., Швецов В.А. Обоснование необходимости соблюдения нормативных требований при выполнении электросварочных работ на судах // Наука, образование, инновации: пути

развития: Материалы Девятой Всерос. науч.-практ. конф. (22–24 мая 2018 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2018. – С. 21–23.

6. *Белов О.А.* Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой Всерос. науч.-практ. конф (23–25 мая 2017 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2017. – С. 51–54.

7. Безопасность мореплавания и ведения промысла: Бюллетень. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2019. – 61 с.

УДК 621.395.725:629.5.066.5

А.А. Македонский

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: smakedonskii1@mail.ru*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АНАЛОГОВЫХ И ЦИФРОВЫХ СУДОВЫХ АТС

Безопасность мореплавания и управляемость судном во многом определяется надежностью и эффективностью средств связи [1, 2]. Важным элементом управляемости и безопасности эксплуатации судна являются внутрисудовые средства связи, в том числе автоматическая телефонная связь. На судах рыбопромыслового флота широко применяются релейные телефонные станции и начинают появляться цифровые автоматические телефонные станции (АТС). В статье обосновывается целесообразность модернизации судовых средств и замена аналоговых АТС на цифровые.

Ключевые слова: автоматическая телефонная станция (АТС), аналоговый сигнал, цифровой сигнал.

A.A. Makedonskiy

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, Russia
e-mail: smakedonskii1@mail.ru*

COMPARATIVE ANALYSIS OF SHIP ANALOG AND DIGITAL ATE SYSTEMS

Safety of navigation and ship handling is largely determined by the reliability and efficiency of communication facilities [1, 2]. An important element of controllability and safety of ship operation is in-ship communication facilities, including automatic telephone communication. Relay telephone exchanges are widely used on fishing vessels and digital automatic telephone exchanges (ATE) are beginning to appear. The article substantiates the reasonability of modernization of the vessel's funds and the replacement of analogue ATE exchanges with digital.

Key words: automatic telephone exchange (ATE), analog signal, digital signal.

Для оперативного управления судном и обмена информацией в различных режимах его эксплуатации используется внутрисудовая связь, одним из видов которой являются автоматические телефонные средства связи. Основой телефонной связи является АТС (автоматическая телефонная станция), осуществляющая избирательную связь между любыми двумя абонентами на судне.

АТС обладают рядом преимуществ, связанных с возможностью быстрого соединения с любым абонентом станции, при этом обеспечивается секретность переговоров и экономичность в связи с отсутствием телефониста. На современных судах широко используются кабельные автоматические телефонные станции КАТС, а также все чаще применяются цифровые АТС типа Panasonic.

Основным отличительным признаком современных АТС является способ коммутации сигнала. Существует два основных способа этого процесса, на использовании которых строятся современные АТС с учетом достоинств и недостатков каждого из них [3].

Аналоговый сигнал основан на воспроизводстве звуковых колебаний путем модуляции электрических сигналов. Он представляет собой «полную электрическую копию» звуковых колебаний, и моделируются все оттенки и нюансы звука. Данный факт является значимым преимуществом аналоговой системы, но, с другой стороны, такая модель делает эту систему громоздкой и низкоскоростной.

Цифровой сигнал получают в результате преобразования логических значений, и поэтому электрическая модель цифрового сигнала оказывается более абстрактной и менее точной. Вместе с тем оцифрованный сигнал можно передавать по специальным линиям, которые благодаря

его компактности имеют гораздо большую пропускную способность. Это является важным преимуществом, так как один цифровой поток по своей пропускной способности равен примерно 30 аналоговым линиям.

В аналоговых и цифровых системах используются разные методы преобразования речи. Аналоговые АТС преобразуют речь в импульсный или непрерывный электрический сигнал, благодаря чему аналоговый сигнал является более точной, но менее компактной моделью звуковых колебаний, чем цифровой. Это связано с тем, что цифровые АТС используют импульсно-кодировую модуляцию, и сигнал преобразуется в потоки двоичных импульсов.

Пропускная способность АТС во многом определяет ее эффективность, поэтому цифровые АТС являются более эффективными при условии, что количество абонентов АТС больше пятидесяти. Причем чем выше это число, тем эффективнее использование цифровой АТС. Для большинства аналоговых АТС обслуживание пятидесяти абонентов является предельно возможным с технической точки зрения.

Фактор эффективности обусловлен высокой стоимостью цифровых АТС в сравнении с аналоговыми, что связано с высокими требованиями к технологии их производства. Поэтому для компенсации затрат требуются большее количество абонентов и интенсивный режим работы [4].

Еще одним показателем оценки эффективности АТС является их функциональность. Этот показатель определяется количеством функций, которые может реализовать АТС. У аналоговых АТС функциональные возможности ограничены, а цифровые АТС обладают множеством сервисных функций, благодаря чему к ним можно подключать как цифровые, так и аналоговые телефонные линии. При этом имеется возможность подключения аппаратов через двухпроводные обычные линии, а у аналоговых АТС такой возможности нет.

С точки зрения технологичности аналоговые АТС также уступают цифровым. Они имеют жесткую конфигурацию системы, фактически не подлежащей изменению в процессе эксплуатации. Цифровые АТС в этом плане отличаются гибкостью системы и обладают возможностью широкой настройки и перепрограммирования.

Основными типами АТС, применяемыми на рыбопромысловых судах, являются аналоговые АТС типа КАТС-20м и КАТС-40м. Емкость таких станций составляет соответственно 20 и 40 абонентов, один из которых в каждой станции является привилегированным, а остальные предназначены для подключения обычных номеров.

Основными функциональными элементами станции типа КАТС являются электромагнитные реле типа РКН, реле-вибраторы типа РКВ, шаговые искатели и трансформаторные зуммеры. Станция рассчитана на работу от источника постоянного тока напряжением 24 В. Работа станции заключается в преобразовании электрических сигналов с помощью групповых линейных реле, линейных реле абонентских комплектов и механическом поиске нужного абонента с помощью искателей вызова. В результате происходит подключение одного из свободных шнуров к вызываемому абоненту, и подается соответствующий сигнал. Далее таким же образом подключается вызываемый абонент, и после снятия трубки собирается разговорная цепь.

Поскольку данные коммутаторы автоматической телефонной станции КАТС были установлены на судах в 80–90-х годах прошлого века, то они уже морально и технически устарели. В период межрейсовой стоянки судов эти КАТС приходилось постоянно ремонтировать и восстанавливать их эксплуатационные характеристики. Слабым звеном в них является релейно-контакторная группа. Из-за длительного времени работы КАТС контакты реле сильно изнашиваются и в некоторых местах подвергаются разрушению. Средний ремонт одной станции КАТС-20 составляет 515 сметных часов, КАТС-40 – 680 сметных часов [5, 6].

Учитывая данные обстоятельства, а также анализируя опыт использования цифровых АТС, в Рыболовецком колхозе имени В. И. Ленина, являющимся базой рыбопромыслового флота в г. Петропавловске-Камчатском, была проведена модернизация АТС на ряде судов. Цифровые АТС Panasonic KX-NS500 были установлены на судах БАТМ «Сероглазка», «Сергей Новоселов», ПБ «Виктор Гаврилов», СТР-420 «Карымский», «Жарпинский», «Путятин». Это позволило снизить затраты на эксплуатацию и существенно повысить эффективность внутрисудовой телефонной связи [7].

Цифровая АТС воплотила в себе все преимущества предыдущих и нынешних поколений АТС Panasonic. Начальная емкость системы начинается с шести аналоговых линий и 18 абонентов, но благодаря блокам расширения масштабируется до 288 абонентов. АТС Panasonic

KX-NS500 обладает широким набором функций, и может быть расширена под конкретные задачи клиента. Встроенная система унифицированных коммуникаций позволяет использовать наиболее интересные функции на базе IP-телефонии. В систему уже встроены расширенные функции голосовой почты и приложения для создания небольшого колл-центра.

Для модернизации АТС потребовалось демонтировать релейно-контакторные группы, шаговый искатель, реле-вибратор, трансформаторный зуммер, сигнально-вызывное устройство и другие комплектующие коммутатора КАТС и заменить старые телефонные аппараты «ТАК-64» на современные Panasonic KX-TS2350. Кабельные линии к абонентам были оставлены старые. На судах типа СТР-420 были добавлены бесперебойные источники питания для стабилизации входного напряжения.

В настоящий момент срок работы новых станций составляет порядка 2–3 лет. АТС Panasonic в работе зарекомендовали себя как надежные, простые в эксплуатации устройства, не требующие постоянного ремонта и внимания со стороны обслуживающего персонала. Тем самым, проведя модернизацию судовых автоматических телефонных станций, удалось избежать излишних затрат на ремонт и восстановление АТС старого типа.

Литература

1. Белов О.А. Методология анализа и контроля безопасности судна как сложной организационно-технической системы // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2015. – № 34. – С. 12–18.
2. Белов О.А., Марченко А.А., Труднев С.Ю. Анализ расчетно-аналитических методов прикладных задач технической безопасности // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2015. – № 4. – С. 7–15.
3. Белов О.А. Аналитический обзор факторов эффективной эксплуатации морского транспорта // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международ. науч.-техн. конф. (17–18 октября 2018 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 5–9.
4. Белов О.А., Богославский И.С., Преданцев Э.А. Оптимизация элементной базы системы автоматики золотоизвлекающей фабрики ЗАО «Тревожное зарево» // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы седьмой Всерос. науч.-практ. конф. (24–26 мая 2016 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – С. 112–114.
5. Белов О.А. Процесс формирования постепенного отказа в технических системах // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Шестой Всерос. науч.-практ. конф. (21–24 апреля 2015 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2015. – С. 44–49.
6. Белов О.А. Методология оценки технического состояния электрооборудования при развитии параметрических отказов // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2015. – № 3. – С. 96–102.
7. Белов О.А., Парфенкин А.И. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 11–14.

УДК 621.313.2

А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: marchenko_alx@inbox.ru*

ПОСТРОЕНИЕ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ СХЕМЫ ГЛАВНОГО ТОКА ГРЕБНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ НА ПОСТОЯННОМ ТОКЕ

Гребные электрические установки на постоянном токе до сих пор актуальны и находят широкое применение на судах ледокольного типа. Несмотря на все их недостатки, их главными преимуществами являются простота системы и широкий диапазон регулирования скорости гребных двигателей. В данной статье автор представляет первый этап исследования гребных электрических установок при помощи компьютерного моделирования.

Ключевые слова: гребной электродвигатель, генератор, напряжение.

A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: marchenko_alx@inbox.ru*

CONSTRUCTION OF A MODEL BASED ON THE MAIN CURRENT CIRCUIT OF A DC ROWING ELECTRIC INSTALLATION

Propeller electric systems on direct current are still relevant and are widely used on icebreaking vessels. Despite all their disadvantages, their main advantages are the simplicity of the system and the wide range of speed control of propeller engines. In this article, the author presents the first stage of the study of propeller electric installations using computer modeling.

Keywords: propeller motor, generator, voltage.

На сегодняшний день перед нашей страной стоит важная задача освоения и укрепления своих позиций в Арктике. Эта задача может быть выполнена только при помощи мощного ледокольного флота. По этой причине сегодня разрабатываются и строятся новые суда ледокольного типа. Главным требованием к электростанции таких судов является возможность обеспечения большого числа скоростей для оптимального движения во льдах при изменении нагрузки на валу гребного винта. Сегодня для этих целей можно применять системы управления скоростью электродвигателей как постоянного, так и переменного тока. Системы на переменном токе наиболее перспективны, так как позволяют осуществлять регулирование координат электродвигателя в широком пределе, а также осуществлять его плавный пуск и торможение.

Системы на постоянном токе широко используются сегодня, несмотря на все преимущества установок переменного тока. Одним из них являются повышенные маневренные качества. ГЭУ постоянного тока применяются на судах с наиболее тяжелым режимом работы: при частом реверсировании, резком изменении момента на гребном винте вплоть до заклинивания, необходимости создания большого вращающего момента на винте при очень малой частоте его вращения [1].

Также одним из положительных качеств является возможность отбора мощности для питания собственных нужд. На судах с гребной электрической установкой на постоянном токе отсутствует жесткая связь первичного двигателя с винтом. На электроходе винт непосредственно связан с гребным электродвигателем (ГЭД), причем длина валопровода значительно сокращается благодаря размещению ГЭД в кормовом отсеке. Отсутствует туннель гребного вала, уменьшаются потери на трение в подшипниковом узле.

Самым явным преимуществом рассматриваемой системы является бесперебойная работа ГЭУ при оголении гребного винта. В штормовую погоду при килевой качке происходит частичное оголение винта. Дизель, работая практически вхолостую, повышает частоту вращения, что может привести к срабатыванию предельного регулятора скорости и к остановке дизеля, после чего необходим новый запуск. При попадании винта в воду на нем возрастает момент сопротивления пропорционально квадрату возросшей частоты вращения, и дизель вследствие внезапной перегрузки может остановиться. На дизель-электроходе оголение винта не вызывает перебоев в работе гребной установки, так как ГЭД быстро приспосабливается к изменению нагрузки с помощью системы автоматического регулирования.

Самым распространенным типом гребной электрической установки является гребная установка по системе генератор – двигатель. В контуре включены один или несколько генераторов последовательно и один или два – на одном валу электродвигателей. Регулирование частоты вращения ГЭД осуществляется изменением напряжения генераторов. Система Г-Д с обратной связью по току в главной цепи обеспечивает возможность стоянки ГЭД под током при заклинивании гребного винта, круто падающую характеристику ГЭД и защиту от перегрузки; в переходных режимах обеспечивается ограничение бросков тока и плавное протекание процесса пуска, реверса и остановки. Система автоматического регулирования напряжения и магнитного потока ГЭД обеспечивает поддержание постоянства мощности ГЭУ при переходе от режима хода судна в свободной воде к швартовному режиму.

Данная система обладает всеми преимуществами в регулировании координат электродвигателя систем на переменном токе, а также она обладает высокой степенью надежности.

В рамках данного исследования проводилось построение модели гребной электрической установки на постоянном токе по системе генератор – двигатель.

В процессе моделирования были допущены следующие упрощения:

- 1) не учитывались механические потери;
- 2) не учитывалось влияние вихревых токов, гистерезиса;
- 3) не учитывался коэффициент самоиндукции;
- 3) не учитывалась реакция якоря;
- 4) зависимость магнитного потока от тока возбуждения принимается линейной;
- 5) магнитный поток гребной равен номинальному [2].

Ниже представлены дифференциальные уравнения для процессов обмотке возбуждения главных генераторов:

$$u_{bt} = i_{bt} \cdot R_b + L_b \cdot di_b(t) / dt, \quad (1)$$

где u_{bt} – напряжение;

i_{bt} – ток;

R_b – активное сопротивление;

L_b – индуктивность обмотки возбуждения;

t – время.

Дифференциальное уравнение для процессов в цепи якоря:

$$e_{gt} - e_{ГЭДt} = it \cdot R + L \cdot di(t) / dt, \quad (2)$$

где

$$e_{gt} = k_{в.г} \cdot \Phi_g(t) \cdot \omega_g(t) \quad (3)$$

– ЭДС генератора,

$$e_{ГЭДt} = k_{в.ГЭД} \cdot \Phi_{ГЭД} \cdot \omega_{ГЭД}(t) \quad (4)$$

– ЭДС_{ГЭД},

it – ток;

R – суммарное активное сопротивление;

L – суммарная индуктивность якорной цепи.

Уравнение вращения дизель-генератора:

$$M_{дизt} - M_{gt} = J_{диз} \cdot d\omega_g(t) / dt, \quad (5)$$

где

$$M_{gt} = k_{м.г} \cdot \Phi_{gt} \cdot it \quad (6)$$

– момент генератора;

$M_{диз}t$ – момент первичного двигателя;

$J_{диз}$ – момент инерции дизель-генератора;

$\omega_r(t)$ – скорость дизель-генератора.

Уравнение движения гребного двигателя:

$$M_{ГЭД}t - M_{в}t = J_{ГЭД} \cdot d\omega_{ГЭД}(t) dt, \quad (7)$$

где

$$M_{ГЭД}t = k_{мГЭД} \cdot \Phi_{ГЭД}(t) \cdot i(t) \quad (8)$$

– электромагнитный момент ГЭД;

$$M_{в}t = k_{в} \cdot \omega_{ГЭД} 2(t) \quad (9)$$

– момент сопротивления, создаваемый гребным винтом;

$k_{в}$ – коэффициент, учитывающий конструкцию и условия работы гребного винта;

$J_{ГЭД}$ – суммарный, приведенный к валу ГЭД момент инерции;

$\omega_{ГЭД}(t)$ – скорость ГЭД.

Перепишем уравнения (1), (2), (5), (7) в нормальной форме Коши с учетом уравнений (3), (4), (6), (8), (9):

$$\begin{cases} di_{в}(t) / dt = u_{в}(t)R_{в} - i_{в}(t) \cdot 1T_{в}, \\ di_{г}(t) / dt = k_{ег} \cdot \Phi_{г}t \cdot \omega_t - k_{егГЭД} \cdot \Phi_{ГЭД} \cdot \omega_{ГЭД}(t) \cdot 1L_{в} - i(t) \cdot 1T, \\ \omega_r(t) / dt = M_{диз}t - k_{мг} \cdot \Phi_{г}t \cdot i(t) \cdot 1J_{диз}, \\ d\omega_{ГЭД}(t) / dt = k_{мГЭД} \cdot \Phi_{ГЭД}t \cdot i_t - k_{в} \cdot \omega_{ГЭД} 2(t) \cdot 1J_{ГЭД}. \end{cases} \quad (10)$$

Произведем нормирование параметров ГЭУ относительно их номинальных значений. Для этого каждая переменная умножается и делится на свое номинальное значение. После преобразований получим систему уравнений в относительных единицах:

$$\begin{cases} di_{в}^*(t)dt = u_{в}^*t \cdot k_1 - i_{в}^*(t) \cdot 1T_{в}, \\ di_{г}^*(t)dt = k_2 \cdot i_{г}^*t \cdot \omega_r^*t - k_3 \cdot \Phi_{ГЭД}^* \cdot \omega_{ГЭД}^*(t) \cdot 1L_{в} - i^*(t) \cdot 1T, \\ d\omega_r^*(t)dt = k_4 \cdot M_{диз}^*t - k_5 \cdot i_{г}^*(t) \cdot i^*(t), \\ d\omega_{ГЭД}^*(t)dt = k_6 \cdot \Phi_{ГЭД}^*t \cdot i^*t - k_7 \cdot \omega_{ГЭД}^* 2(t), \end{cases} \quad (11)$$

где

$$k_1 = U_{в.н} I_{в.н} \cdot R_{в}; \quad (12)$$

$$k_2 = U_{н} + I_{н} \cdot RI_{н}; \quad (13)$$

$$k_3 = U_{н} - I_{н} \cdot RI_{н}; \quad (14)$$

$$k_4 = M_{диз.н} \omega_{г.н} \cdot J_{диз}; \quad (15)$$

$$k_5 = M_{г.н} \omega_{г.н} \cdot J_{диз}; \quad (16)$$

$$k_6 = M_{ГЭД.н} \omega_{ГЭД.н} \cdot J_{ГЭД}; \quad (17)$$

$$k_7 = k_{в} \omega_{ГЭД.н} 2 J_{ГЭД}; \quad (18)$$

$$T_{в} = L_{в} R_{в}; T = LR \quad (19)$$

– постоянные времени обмотки возбуждения и якорной цепи.

На основании данной математической модели была построена компьютерная модель в среде компьютерного моделирования Matlab, представленная на рис. 1.

Данная модель включает приводной двигатель 1. В представленной системе его роль выполняет асинхронный двигатель с неизменной частотой вращения. Главный генератор 2 работает в системе генератор – двигатель с гребным электродвигателем постоянного тока 3. Блок 4 представляет собой комплекс измерительного оборудования. Нужно отметить, что данная схема не рассматривает системы возбуждения главного генератора и гребного электродвигателя. Изменение тока возбуждения генератора производилось вручную [3].

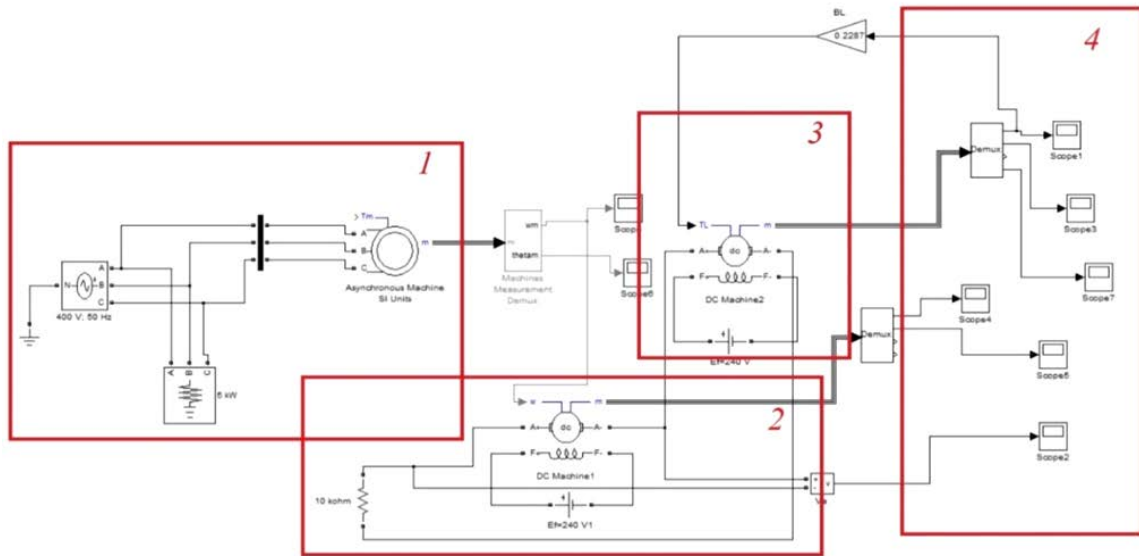


Рис. 1. Компьютерная модель

После построения модели первостепенной задачей является ее проверка на соответствие реальной установке. Как правило, обычно сравнивают результаты моделирования в номинальном режиме и паспортные данные системы. В данном случае необходимо проверить момент, ток и скорость вращения электродвигателя в номинальном режиме.

После проведения испытаний было выявлено отклонение в среднем 12%, что свидетельствует о правильности построения модели гребной установки на постоянном токе.

На рис. 2 представлены результаты регулирования скорости вращения двигателя при изменении напряжения главного генератора.

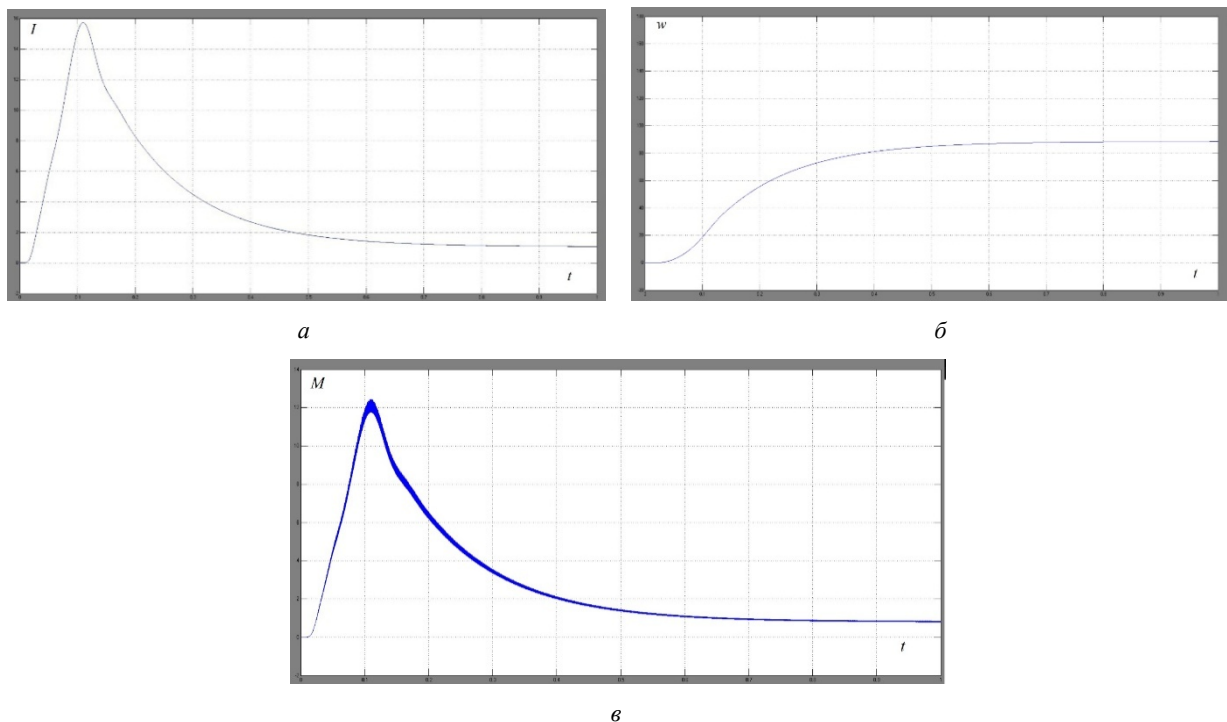


Рис. 2. Результаты эксперимента:

а – ток гребного двигателя; *б* – скорость гребного двигателя; *в* – момент гребного двигателя

Из приведенных диаграмм понятно, что компьютерная модель работает корректно и ее параметры соответствуют параметрам реальной системы.

Основной задачей эксперимента является получение подтверждения плавного изменения скорости гребных двигателей.

Проведенный компьютерный эксперимент позволяет сделать вывод о соответствии модели и реальной гребной электрической установки, а представленный метод регулирования частоты работает в широком диапазоне. Также видно, что изменение частоты вращения происходит пропорционально. Это позволяет сделать вывод о плавности регулирования.

На следующем этапе исследования целесообразно моделирование второго контура и объединение их в систему ГЭУ с изменением момента на валу гребного двигателя относительно нагрузки. Кроме того, при реализации данной модели станет возможна компьютерная имитация параллельной работы главных генераторов, что является неотъемлемой частью ГЭУ.

Литература

1. *Акулов Ю.И.* Гребные электрические установки: Учебник. – М.: Транспорт, 1982. – 264 с.
2. *Труднев С.Ю.* Разработка компьютерной модели параллельной работы генераторного агрегата и трехфазного безынерционного источника питания // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – Т. 30. – № 2. – С. 191–197.
3. *Труднев С.Ю.* Компьютерное моделирование полупроводниковых преобразователей // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – №. 52. – С. 18–26.

УДК 656.08

Н.С. Рябовол, К.А. Макиевский

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: ryabovol020@mail.ru*

АНАЛИЗ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ ТРАВМАТИЗМА НА РЫБОПРОМЫСЛОВЫХ СУДАХ

Высокий уровень травматизма на судах рыбопромыслового флота требует поиска ключевых решений данной актуальной проблемы. На основании официальной статистики травматизма и аварийных ситуаций во время выполнения работ на судах рыбопромыслового флота проведен анализ причин травматизма и их последствий. Предлагаются различные варианты решения проблемы путем обеспечения экипажа дополнительными средствами безопасности и внедрения дополнительных организационно-технических мероприятий [1, 2].

Ключевые слова: авария, травматизм, техническая эксплуатация, охрана труда.

D.S. Ryabovol, K.A. Makievsky

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: ryabovol020@mail.ru*

ANALYSIS AND PREVENTION OF INJURIES ON BOARD OF THE FISHING SHIPS

The high level of injuries on board of the fishing ships requires the search for key solutions to this urgent problem. On the basis of the official statistics of injuries and accidents during the performance of work on ships of the fishing fleet an analysis of the causes of injuries and their consequences was carried out. Various options for solving the problem are proposed by providing the crew with additional safety equipment and introducing additional organizational and technical measures.

Key words: accident, injury rate, technical operation, labor protection.

Старение судового состава и медленное обновление рыбопромыслового флота является одной из основных причин высокой аварийности и фактором, повышающим вероятность выхода оборудования из строя. Все это приводит к большому количеству аварийных ситуаций на море. Анализ возрастной структуры рыбопромыслового флота, представленный на рис. 1, показывает, что более 80% судов рыбопромыслового флота – это суда старше 20 лет, при этом со сроком эксплуатации до 30 лет всего 50% судов.



Рис. 1. Анализ возрастной структуры рыбопромысловых судов

Почти 30% судов старше 30 лет и около 10% имеющегося судового состава эксплуатируется более 40 лет. В большинстве случаев это изношенные и устаревшие суда, пришедшие в негодность. Старые проекты рыбопромысловых судов имеют высокий уровень аварийности, так как важнейшие критерии безопасности остались на уровне прошлого века [3, 4].

Помимо устаревших судов, стоит отметить еще и неопытность экипажа. В 2019 г. в России большая часть аварийных ситуаций на судах приходилась на потерю членов экипажа в результате падения за борт, неправильное использование палубного оборудования, а также отсутствие базовых навыков оказания первой медицинской помощи.

По сведениям Федерального агентства по рыболовству, в 2019 г. произошло 54 аварийных случая [5]. Анализ аварийности на рыбопромысловых судах приведен в табл. 1.

Таблица 1

Анализ аварийности на рыбопромысловых судах

Аварийные случаи	Бассейны				ВСЕГО
	Дальне-восточный	Северный	Западный	Южный	
Винторулевая группа	12	6	–	–	18
Элементы энергетической установки	5	3	–	–	8
Навигационные происшествия	6	3	–	2	11
Пожары и возгорания	7	4	3	–	14
Затопления	1	–	1	–	2
Гибель судна	1	–	–	–	1
ВСЕГО	32	16	4	2	54

Также по сведениям Федерального агентства по рыболовству за этот же период на судах рыбопромыслового флота погибло и пострадало 46 человек [5]. Данные по травматизму приведены в табл. 2.

Таблица 2

Анализ травматизма на рыбопромысловых судах

Аварийные случаи	Бассейны				ВСЕГО
	Дальне-восточный	Северный	Западный	Южный	
Производственный травматизм	7	2	2	–	11
Случаи гибели людей, связанные с эксплуатацией судна	8	1	4	–	13
Падение человека за борт	21	–	–	1	22
ВСЕГО	36	3	6	1	46

Несомненно, работа в море является одной из самых сложных в мире, поэтому практической подготовке моряков уделяется большое внимание [6]. Фотографии профессиональной деятельности экипажа, представленные на рис. 2, подтверждают это. Но меры безопасности должны выполняться не только на бумаге, но и в реальной жизни [7, 8].



Рис. 2. Выполнение палубных работ в неблагоприятных условиях

Пожалуй, одной из самых главных мер по предотвращению травматизма во время выполнения палубных работ является знание экипажем мер безопасности [9]. Поэтому судоводные компании осуществляют следующие виды деятельности:

- к работе в компании принимаются только лица, соответствующие требованиям МК ПДМНВ-78;
- с привлеченными на борт периодически проводятся инструктажи по технике безопасности;
- установлены правила техники безопасности на рабочих местах и постах, которые должен соблюдать каждый член экипажа;
- судовая среда для людей поддерживается в рекомендуемых пределах.

Согласно требованиям МК ПДМНВ-78, лицам не моложе 18 лет разрешается самостоятельно работать на судне и обслуживать механизмы при наличии свидетельства о прохождении квалификационной комиссии, они должны иметь медицинское подтверждение о годности по состоянию здоровья, знать инструкции по безопасности и обслуживанию материальной части, а также уметь правильно использовать защитные и спасательные устройства и средства.

Со всеми членами экипажа в процессе повседневной организации предусмотрено проведение инструктажей, которые в зависимости от ситуации могут быть первичными, повторными, целевыми или внеплановыми.

Подводя итог, можно сказать, что важность соблюдения требований охраны труда и здоровья невозможно переоценить. Они играют фундаментальную роль в предотвращении травм и сохранении здоровья экипажа. Несоблюдение требований безопасности может поставить под угрозу здоровье экипажа судна. Практические меры по охране здоровья и безопасности должны идти рука об руку с улучшением условий труда на рабочем месте. Чрезвычайно важно, чтобы каждый член экипажа участвовал в выявлении опасных и вредных факторов производства и предлагал меры по их устранению.

Литература

1. Белов О.А. Антикоррозионные мероприятия как фактор экологической безопасности на морском транспорте // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (19–21 марта 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 76–79.
2. Белов О.А., Зайцев С.А. К вопросу оценки безопасности морских судов камчатского флота // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы X Нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (1–21 марта 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 80–83.
3. Белов О.А. Общий алгоритм развития опасных ситуаций в судовых условиях // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Восьмой всерос. науч.-практ. конф. (23–25 мая 2017 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2017. – С. 51–54.
4. Белов О.А., Парфенкин А.И. Обзор основных факторов снижения безопасности сложных технических систем // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 11–14.
5. Безопасность мореплавания и ведения промысла: бюллетень. – Владивосток: Дальрыбвтуз, 2019. – 61 с.
6. Белов О.А., Белова Е.П. Инженерное образование как фактор развития техники и технологий // Наука, образование, инновации: пути развития: Материалы Десятой нац. (всерос.) науч.-практ. конф. (21–23 мая 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 106–108.
7. Руководство по охране и безопасности труда на судах СТП 335.191. – 97. – № 2.09. – Новороссийск: ОАО «Новошип», 1997. – 64 с.
8. Предупреждение несчастных случаев на судне в море и в порту. Свод практических правил. Пер. с англ. – М.: ЦРИА «Морфлот», 1981. – 152 с.
9. Международная конвенция о подготовке и дипломировании моряков и несении вахты 1978 года ПДМНВ-78, измененная конференцией 1995 года вместе с документами конференции. Глава VI/1. Таблица А-VI/1-4 с 300. – СПб.: ЗАО ЦНИИМФ, 1996. – 552 с.

УДК 621.314:629.5

С.Ю. Труднев

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

ОПЫТ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Материал посвящен исследованию режима короткого замыкания судового трансформатора напряжения. Произведен расчет сопротивления обмоток и расчет первичного напряжения трансформатора при коротком замыкании. Сделан обобщенный расчет потерь в режиме короткого замыкания.

Ключевые слова: короткое замыкание, трансформатор, сопротивление, потери, схема замещения.

S.Yu. Trudnev

*Kamchatsky State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: trudnev@mail.ru*

TRANSFORMER SHORT CIRCUIT EXPERIENCE

The article is devoted to the study of the short-circuit mode of a ship voltage transformer. The windings resistance is calculated and the primary voltage of the transformer is calculated in case of a short circuit. The generalized calculation of losses in the short-circuit mode is made.

Key words: short circuit, transformer, resistance, losses, replacement circuit.

Трансформатор напряжения – это один из видов электрических машин, используемых на судне для распределения энергии или чаще – в качестве преобразователя. Режим короткого замыкания трансформатора является ненормальным режимом работы трансформатора.

Режимом короткого замыкания называют режим при замкнутых накоротко зажимах вторичной обмотки трансформатора, когда $U_2 = 0$. В условиях эксплуатации этот режим является аварийным и представляет для трансформатора большую опасность, так как при номинальном (или близком к нему) первичном напряжении токи трансформатора получаются весьма большими. Однако режим короткого замыкания при пониженных значениях напряженности U_1 может быть использован для экспериментального определения ряда важных данных трансформатора. С этой целью и выполняют опыт короткого замыкания.

Установившийся режим короткого замыкания трансформатора описывается уравнениями законов Кирхгофа [1–3], в которых нужно положить $U_2 = 0$:

$$\dot{U}_1 = -\dot{E}_1 + \dot{I}_1 Z_1 = \dot{I}_\mu Z_\mu + \dot{I}_1 \dot{Z}'_1, \quad (1)$$

$$0 = \dot{E}'_2 - \dot{I}'_2 \dot{Z}'_2 = -\dot{I}_\mu Z_\mu - \dot{I}'_2 \dot{Z}'_2, \quad (2)$$

$$\dot{I}_\mu = \dot{I}_1 + \dot{I}'_2. \quad (3)$$

Схема замещения трансформатора при замыкании принимает вид, представленный на рис. 1.

Из последней схемы следует, что при коротком замыкании токи обмоток практически связаны соотношением

$$I_1 \approx -I'_2. \quad (4)$$

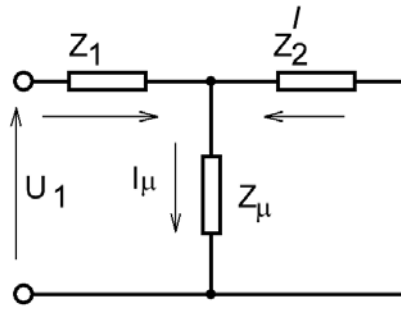


Рис. 1. Схема замещения трансформатора в режиме короткого замыкания

Угол φ_{s2} сдвига тока \dot{I}'_2 относительно ЭДС E'_2 определяется на основе (2) из соотношения

$$\operatorname{tg}\varphi_{s2} = x'_{s2} / r'_2 = x_{s2} / r_2.$$

Схема замещения на рис. 1 показывает, что ЭДС E_1 при коротком замыкании значительно отличаются от напряжения U_1 . Если принять, что $Z_1 = Z'_2$ (что примерно соответствует соотношениям в силовых трансформаторах), то $E_1 = 0,5 U_1$. Поэтому при сниженных по сравнению с номинальным напряжениях U_1 ЭДС E_1 , а вместе с ней поток и индукция в сердечнике трансформатора значительно меньше своих номинальных значений.

Опыт короткого замыкания трансформатора (рис. 2) производится лишь для нескольких значений подводимого напряжения U_1 с таким расчетом, чтобы токи в обмотках не превышали более чем на 10–20% номинальные величины. По измеренным в опыте значениям подводимой к трансформатору мощности P_{1k} , напряжения U_1 и тока I_1 определяют ряд данных трансформатора. Ниже приводятся соотношения для однофазных трансформаторов. Они справедливы и для трехфазных трансформаторов, если считать в качестве тока и напряжения средние значения фазных токов и напряжений, а под мощностью понимать мощность, приходящуюся на одну фазу.

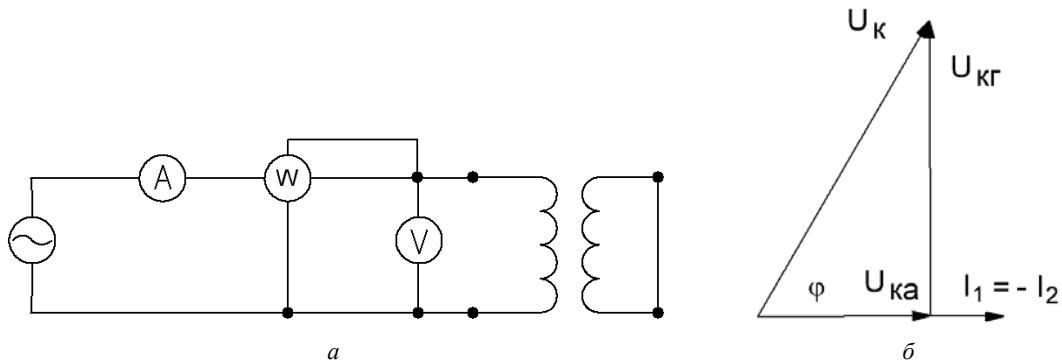


Рис. 2. Опыт короткого замыкания однофазного трансформатора: а – электрическая схема; б – векторная диаграмма

Сопротивление короткого замыкания

В соответствии со схемой замещения (рис. 2, б) [3, 4]

$$\frac{U_1}{I_1} \approx |Z_1 + Z'_2|, \frac{P_{1k}}{I_1^2} \approx r_1 + r'_2.$$

Сопротивления $Z_k = Z_1 + Z'_2$, $r_1 + r'_2$ и $x_{s1} + x'_{s2} = \sqrt{z_k^2 - r_k^2}$ называются *полным, активным и индуктивным* сопротивлениями короткого замыкания.

Величина активных сопротивлений обмоток r_1 , r'_2 зависит от температуры обмоток $\vartheta_{об}$. При быстром проведении опыта короткого замыкания температура обмоток практически неизменна и равна температуре окружающей среды ϑ_0 . Поскольку сопротивления короткого замыкания используются при расчетах нагрузочных режимов трансформатора, когда температура обмоток $\vartheta_{об}$ значительно превышает температуру $\vartheta_{об}$. В качестве некоторой средней рабочей

температуры обмоток принимается $\vartheta_{06} = 75^\circ$. Приведенные к этой температуре параметры короткого замыкания z_{k75}, r_{k75} вычисляются по параметрам z_k, x_k, r_k , определенным из опыта в виде:

$$r_{k75} = r_k \frac{310}{235 + \cup_0}^* ; \quad z_{k75} = \sqrt{x_k^2 + r_{k75}^2}.$$

Напряжение короткого замыкания

Зависимость $I_1 = f(U_1)$, при которой замыкание представляет прямую, так как параметры x_k, r_k постоянны. Напряжение U_1 , соответствующее номинальному току I_{1H} (при температуре обмоток $\vartheta_{06} = 75^\circ$), называется напряжением короткого замыкания и имеет специальное обозначение U_k . Обычно это напряжение выражается в относительных единицах или в процентах от номинального напряжения и обозначается u_k : $u_k = U_k / U_{1H}$. Величина u_k для силовых трансформаторов лежит в пределах 0,055–0,15 (5,5–15%), причем меньшее значение u_k у трансформаторов небольшой мощности.

Из рис. 1 следует, что

$$\dot{U}_k = \dot{I}_{1H} \dot{Z}_{k75} = \dot{I}_{1H} (r_{k75} + jx_k) = \dot{U}_{ka} + \dot{U}_{kr},$$

где $\dot{U}_{ka} = \dot{I}_{1H} r_{k75}$, $\dot{U}_{kr} = j \dot{I}_{1H} x_k$ – соответственно активная и реактивная составляющие напряжения короткого замыкания. Они, как и напряжение U_k , обычно выражаются в относительных единицах:

$$u_{ka} = \frac{U_{ka}}{U_{1H}} = \frac{I_{1H} r_{k75}}{U_{1H}}, u_{kr} = \frac{U_{kr}}{U_{1H}} = \frac{I_{1H} x_k}{U_{1H}}.$$

Векторы $\dot{U}_k, \dot{U}_{ka}, \dot{U}_{kr}$ образуют на векторной диаграмме так называемый треугольник короткого замыкания (рис. 2, б). Соотношение между величинами u_{kr} и u_{ka} зависит от мощности трансформатора; $u_{kr} / u_{ka} = x_k / r_{k75}$ измеряется в пределах от 1,5 до 15 (большее значение у трансформаторов большей мощности).

Потери в трансформаторе при коротком замыкании

ЭДС E_1 составляет при коротком замыкании примерно $0,5U_1 \approx (3 \div 7)\%$ от U_{1H} . Поэтому потери в стали трансформатора $p_c \sim E_1^2$ в опыте короткого замыкания имеют ничтожную величину. Таким образом, мощность, потребляемая трансформатором в этом режиме P_{1k} , равна потерям в его обмотках:

$$P_{1k} \approx p_{M1} + p_{M2} = I_1^2 r_1 + I_2^2 r_2 = I_1^2 r_k,$$

так как $I_1 \approx I_2$.

Мощность P_{1k} , называемая потерями короткого замыкания, приводится к температуре 75° , так же, как и активное сопротивление r_k . Потери короткого замыкания при номинальном токе $p_{kH} = I_{1H}^2 r_{k75}$ обычно в три-четыре раза превышают потери в стали при холостом ходе и номинальном напряжении $p_{c.н.}$. По данным опыта строятся характеристики короткого замыкания $P_{1k}, I_1, \cos \varphi_k$ в функции U_1 . В дальнейшем индекс 75 у сопротивлений короткого замыкания, показывающий на приведение параметра к температуре 75° , будет опускаться.

Исследования дают возможность произвести расчет потерь и первичного напряжения для любого судового трансформатора и разработать компьютерную модель для более глубокого исследования процесса короткого замыкания.

Литература

1. *Важнов А.И.* Основы теории переходных процессов синхронной машины. – М.: Госэнергоиздат, 1960. – 362 с.
2. *Веников В.А.* Электромеханические переходные процессы в электрических системах. – М.: Госэнергоиздат, 1958. – 246 с.
3. *Справочник по расчетам судовых автоматических систем.* – Л.: Судостроение, 1989. – 408 с.
4. *Марченко А.А., Онищенко О.А., Труднев С.Ю.* Исследование модели асинхронного двигателя // Вестник АГТУ. Морская техника и технология. – 2014. – № 29. – С. 17–24.

УДК 574.21+620.19:629.5.023

Д.П. Ястребов¹, Л.А. Позолотина^{1,2}, А.В. Климова¹, О.А. Белов¹

¹ Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003;

² Камчатский филиал Всероссийского научно-исследовательского института
рыбного хозяйства и океанографии,
Петропавловск-Камчатский, 683000
e-mail: restart1101@mail.ru

БИООБРАСТАНИЕ ЭЛЕКТРОДОВ СРАВНЕНИЯ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ СТОЯНОЧНОМ РЕЖИМЕ СУДНА: ХИМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ВЛИЯНИЕ НА ЭКСПЛУАТАЦИЮ

В работе представлены результаты измерений электрохимического потенциала корпуса судна с помощью медных электродов сравнения, подвергшихся биообрастанию. При их продолжительном экспонировании в морской воде, с 1 января по 17 июля 2020 г., уже к началу лета на поверхности электродов началось активное развитие нитчатых эктокарповых водорослей. Однако существенного влияния на показатели потенциала корпуса судна они не оказывали.

Ключевые слова: биообрастание, коррозия стальных корпусов судов и кораблей, контрольные электроды, потенциал корпуса судна.

D.P. Yastrebov¹, L.A. Pozolotina^{1,2}, A.V. Klimova¹, O.A. Belov¹

¹ Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;

² Kamchatka Branch of Russian Federal Research Institute of Fisheries and Oceanography,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683000
e-mail: restart1101@mail.ru

BIOFOULING OF COMPARISON ELECTRODES USED IN THE CONTROL OF THE SACRIFICIAL PROTECTION OF SHIPS DURING A LONG-TERM STANDING MODE: CHEMICAL ANALYSIS AND IMPACT ON OPERATION

The paper presents the results of measurements of the electrochemical potential of the ship's hull using copper reference electrodes subjected to biofouling. Being exposed in seawater for a long time, from January 1 till July 17, 2020, the electrodes were actively overgrown with ectocarpal algae by the beginning of summer. However, they did not have a significant impact on the indicators of the ship's hull potential.

Key words: biofouling, corrosion of steel hulls of ships and vessels, control electrodes, hull potential.

Массовое развитие растительных и животных организмов на поверхности судов и морских гидротехнических сооружений при их длительной эксплуатации наносит им значительный вред. К одним из наиболее негативных эффектов биообрастания относятся ускорение коррозии материалов и увеличение гидродинамической нагрузки на такие объекты [1, 2]. Поэтому защите корпусов судов, свай, причальных сооружений и других металлоконструкций в водной среде от воздействия видов-обрастателей уделяется все больше внимание [3]. В настоящее время разрабатываются и внедряются новые противообрастающие покрытия, повышающие срок эксплуатации металлических изделий и отвечающие требованиям экологической безопасности [4].

Особую актуальность для решения этих вопросов представляют работы, направленные на разработку методов контроля протекторной защиты корпусов судов, характеризующихся высокой надежностью технических приспособлений, отличающихся стабильностью работы в течение продолжительного периода времени. Влияние на их работу биообрастания в холодоумеренных морских водах до сих пор никем не исследовалось. В связи с этим целью настоящей работы являлась оценка влияния биообрастания на эксплуатационные показатели электродов сравнения при долговременном стояночном режиме судна.

В рамках тестирования автоматизированной системы контроля протекторной защиты корпусов рыбопромысловых судов определяли уровень их коррозии. Ниже обсуждаются результаты исследований, проведенных на судне ПМ-15 (плавучая мастерская; заводской номер № 3, год постройки 1982; проект или тип судна 304/III; материал корпуса сталь СТ4). Судно эксплуатировалось в длительном стояночном режиме у причала № 1 морского торгового порта г. Петропавловска-Камчатского (рис. 1, 1–2).

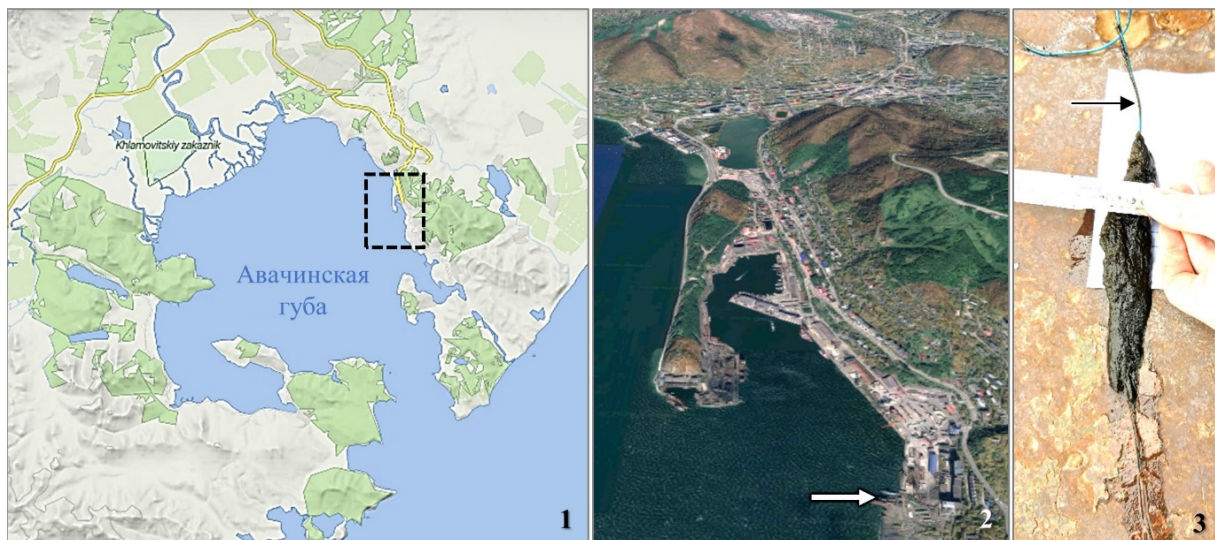


Рис. 1. Место якорной стоянки судна (1, 2) и внешний вид электрода сравнения после длительного нахождения в морской воде (3)

Измерения выполнены в соответствии с рекомендациями [5, 6] в период времени с 01.01.2020 по 14.08.2020. При этом потенциал корпуса контролировали в трех контрольных точках. Измерения потенциала (мВ) в контрольных точках выполняли каждый час с помощью трех параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями потенциала составлял 5 с. В качестве контрольных электродов использовали нестандартные электроды (рис. 1, 3). Они были выполнены из медных электротехнических изделий (содержание меди не менее 99%), их изоляция и оболочка из поливинилхлоридного пластиката. Данные электроды эксплуатировались около восьми месяцев.

Камеральная обработка проб биообрастания, собранных на указанных выше медных электродах после восьми месяцев работы, была проведена в секторе коллективного использования научного оборудования КамчатГТУ. Для микроскопирования и фотодокументирования биообрастателей использовали биологический микроскоп Olympus BX53 с цифровой фотокамерой DP73. Определение содержания минеральных компонентов в пробах биообрастателей выполняли на атомно-эмиссионном спектрометре с микроволновой плазмой Agilent MP-AES 4200.

За период экспонирования электрода сравнения № 4 в морской воде с января по июнь 2020 г. среднее значение разности потенциала судна составляло 392 мВ (среднее значение для зимних месяцев – 375 мВ, для весенних – 403 мВ). С начала июня оно стало планомерно возрастать и к середине месяца превысило 500 мВ (рис. 2, 1). Результаты натурных коррозионных испытаний электрода № 4 в летний период приведены на рис. 2; 1, 2.

Максимальное значение разности потенциала судна, 543 мВ, было зарегистрировано 02.07.2020. Период с «завышенными» показаниями электрода соответствовал массовому развитию макроводорослей-обрастателей. Выполненные в летние месяцы измерения потенциала судна с помощью электрода № 5 (без обрастания) показали, что его значения варьировали от 375 до 453 мВ, при среднем значении 406 мВ (рис. 2; 3, 4). Отмеченное отклонение показаний электрода сравнения № 4 при продолжительном экспонировании в водной среде является незначительным, т. е. биообрастание существенного влияния на его эксплуатацию при долговременном контроле протекторной защиты корпусов судов не оказывало.

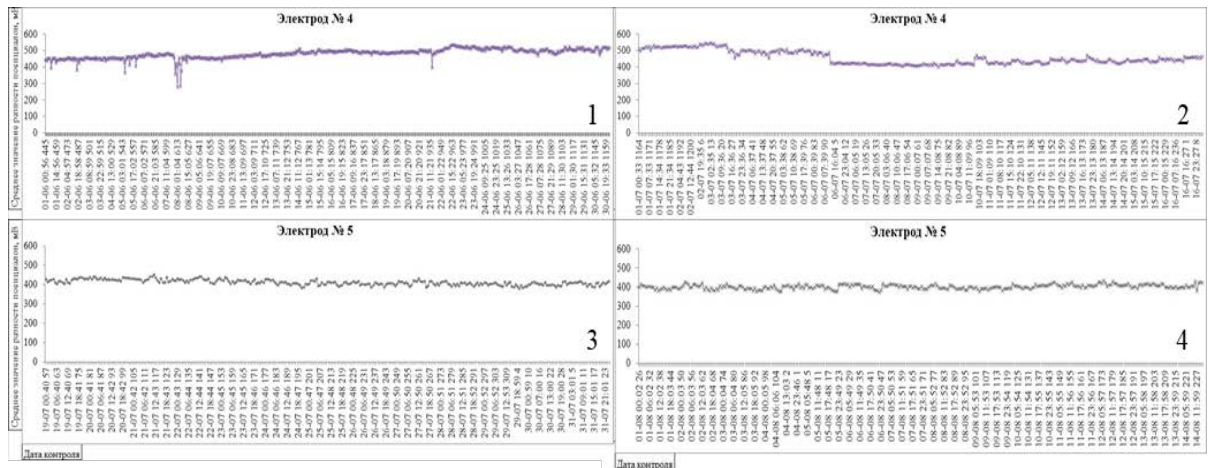


Рис. 2. Динамика изменений потенциала судна ПМ-15: 1, 2 – данные, полученные с помощью электрода № 4 в период с 01.06.2020 по 16.07.2020; 3, 4 – данные, полученные с помощью электрода № 5 в период с 19.07.2020 по 14.08.2020

Таксономическая обработка проб биообрастания электрода сравнения № 4 показала, что основу ее видового состава составляла бурая нитчатая водоросль порядка *Ectocarpales* – *Ectocarpus* sp. (рис. 3, 1–3). Длина ее кустиков не превышала 5 см. Равномерное развитие водоросли отмечено только в нижней части электрода, выше колонизация происходила мозаично. Общая длина электрода с непрерывным развитием *Ectocarpus* sp. составила 23 см. Изученные образцы находились в стерильном состоянии, клетки их боковых ветвей находились в стадии активного роста и деления. Кустики *Ectocarpus* sp. имели обильную диатомовую микрофлору (рис. 3, 4–7). С учетом того, что эктокарпус относится к числу короткоциклового сезонных эфемеров и разные его генерации могут завершать развитие любой их стадии развития, спорофитной или гаметофитной, в течение 4–6 недель, можно полагать, что возраст нитчатой водоросли, покрывавшей электрод, не превышал двух недель.

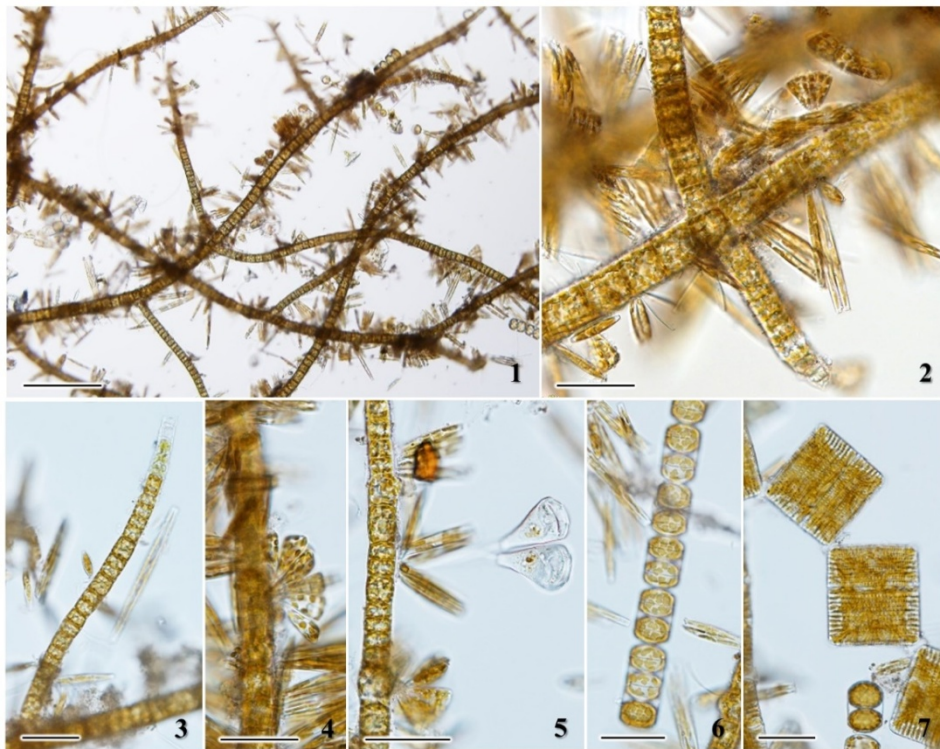


Рис. 3. Сообщество биообрастания электродов сравнения: 1 – разветвленные кустики *Ectocarpus* sp.; 2 – обильная диатомовая микрофлора; 3 – боковая ветвь *Ectocarpus* sp.; 4 – диатомовая водоросль *Licmophora* sp.; 5 – *Tabularia* sp.; 6 – диатомовая водоросль *Melosira* sp.; 7 – *Rhabdonema* sp.
Масштабная линейка: 1 – 200 мкм, 2–7 – 50 мкм

Эктокарповые водоросли широко распространены в Авачинской губе, довольно часто развиваются на антропогенном субстрате, на естественном субстрате они формируют монодоминантные ассоциации, главным образом в эвтрофированных водах. Их активному расселению здесь, как было сказано выше, способствует короткий жизненный цикл и частая смена поколений [7]. Кроме того, представители порядка Ectocarpales, произрастающие во внутренней части Авачинской губы, относятся к гиперсапробным видам, чрезвычайно приспособленным к металлическому и нефтяному загрязнению среды.

Для выявления особенностей накопления металлов в водорослях из биообрастания электродов было проведено количественное определение в них содержания Al, Mn, Zn, Cu, Ba, Pb, Cr и Cd. Выполненный анализ выявил у *Ectocarpus* sp. высокую аккумуляционную способность в отношении алюминия, марганца, цинка, меди и свинца (рис. 4, 1). В общем виде концентрация металлов в исследованных водорослях убывала в следующей последовательности: Al > Mn > Zn > Pb > Cu > Ba > Cr > Cd. Необходимо отметить, что накопление свинца бурными водорослями из ненарушенных прибрежных экосистем не превышает накопление меди [8]. Высокое содержание тяжелых металлов в исследованных образцах эктокарповых водорослей (Zn – 125,9 мкг/г, Cu – 21,9 мкг/г, Pb – 23,8 мкг/г и Cd – 1,5 мкг/г) позволяет говорить о крайне неблагоприятной экологической обстановке бух. Петропавловская.

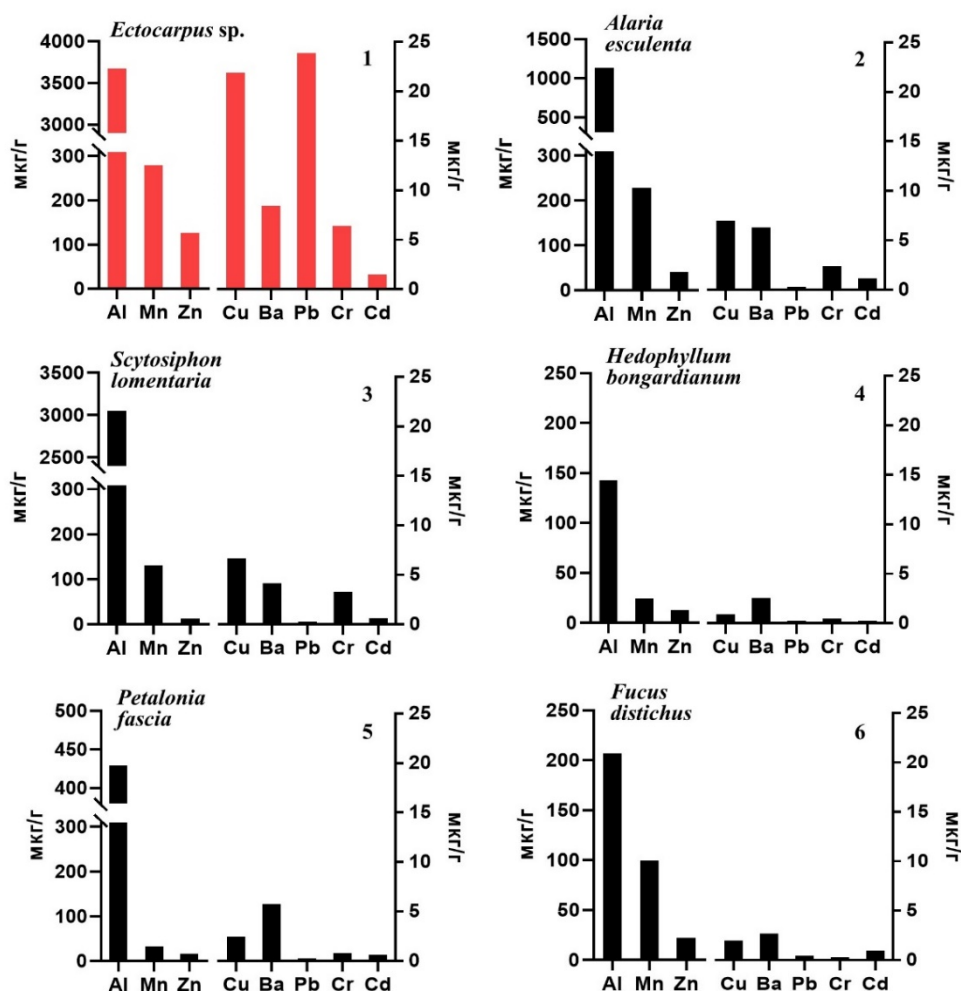


Рис. 4. Содержание металлов в эктокарповых водорослях из биообрастания электродов сравнения (1) и в макроводорослях, произраставших на естественном субстрате у северо-восточного побережья Авачинской губы в июле 2020 г. (2–6)

Для оценки видоспецифичности в накоплении металлов *Ectocarpus* sp. было определено содержание металлов в других видах водорослей, произраставших на естественных субстратах в прилегающих к бух. Петропавловская районах Авачинской губы (бух. Сероглазка, побережье

у сопки Никольская, мыс Санникова, бух. Раковая и бух. Завойко). Уровни накопления металлов у других представителей порядка Ectocarpales (*Scytosiphon lomentaria* и *Petalonia fascia*) в июле были существенно ниже (рис. 4; 3, 5). Исключение отмечено только в отношении Al, так, у *S. lomentaria* его содержание также превышало 3000 мкг/г.

Уровни накопления металлов у ламинариевых и фукусовых водорослей, произрастающих у городского побережья Авачинской губы, также характеризовались более низкими, чем у *Ectocarpus* sp., значениями (рис. 4; 2, 4, 6). Повышенное содержание металлов в водорослях из биообрастания может быть обусловлено не только специфическими условиями произрастания, но и их видоспецифическими биологическими особенностями. В частности, тем, что эктокарповые водоросли характеризуются нитчатой организацией таллома, в отличие от многолетних представителей порядков Laminariales и Fucales со сложной тканевой структурой слоевищ, они не имеют кутикулы, обильной альгиновой слизи или других особенностей строения, препятствующих проникновению в их клетки ионов тяжелых металлов. В связи с этим представители этой группы бурых водорослей, формирующие биообрастание корпусов судов и гидротехнических сооружений, могут выступать в качестве видов, пригодных для мониторинга металлического загрязнения морских акваторий в районах, где многолетние виды макрофитов отсутствуют.

В целом следует отметить, что длительное экспонирование электродов сравнения в морской воде привело к их активному обрастанию макро- и микроводорослями, особенно в летние месяцы. Основу сообщества обрастания составляла нитчатая эктокарповая водоросль *Ectocarpus* sp., имеющая обильную диатомовую микрофлору. Массовое развитие водорослей на электроде сравнения № 4 в период с 16 июня по 6 июля привело к завышению значений разности потенциала. Исследования содержания металлов биообрастания электродов сравнения выявило значительное превышение цинка, меди и свинца по сравнению с их содержанием в водорослях, произрастающих на естественных субстратах в близлежащих районах в этот же период времени.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Федерального агентства по рыболовству в рамках выполнения госзадания по темам НИР № госрегистрации АААА-А20-120031790005-8 и АААА-А20-120031790004-1.

Литература

1. Звягинцев А.Ю. Морское обрастание в северо-западной части Тихого океана. – Владивосток: Дальнаука, 2005. – 432 с.
2. Комплексный подход к защите от морского обрастания и коррозии / В.А. Карпов, Ю.Л. Ковальчук, О.П. Полтаруха, И.Н. Ильин. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2007. – 155 с.
3. Research strategies to develop environmentally friendly marine antifouling coatings / Y. Gu, L. Yu, J. Mou, D. Wu, M. Xu, P. Zhou, Y. Ren // Mar Drugs. – 2020. – № 18(7). – P. 371. DOI: 10.3390/md18070371.
4. The progress on antifouling organic coating: from biocide to biomimetic surface / X. Han, J. Wu, X. Zhang, J. Shi, J. Wei, Y. Yang, B. Wu, Y. Feng // Journal of Materials Science and Technology. – 2021. – № 61. – P. 46–62. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2020.07.002>.
5. Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П. Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1 (82). – С. 41–48.
6. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов, О.А. Белавина, Д.В. Шуныкин // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 39. – С. 6–11.
7. Клочкова Н.Г., Березовская В.А. Макрофитобентос Авачинской губы и его антропогенная деструкция. – Владивосток: Дальнаука, 2001. – 208 с.
8. Benthic macroalgae as biological indicators of heavy metal pollution in the marine environments: A biomonitoring approach for pollution assessment / S. Chakraborty, T. Bhattacharya, G. Singh, J.P. Maity // Ecotoxicology and Environmental Safety. – 2014. – № 100. – P. 61–68. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2013.12.003.

УДК 620.19:629.5.023

Д.П. Ястребов, В.А. Швецов, А.О.Рогожников, Г.В. Кузнецов, А.П. Ушакевич

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

К ВОПРОСУ ВЫБОРА ЭЛЕКТРОДОВ СРАВНЕНИЯ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ПРОТЕКТОРНОЙ ЗАЩИТЫ СТАЛЬНЫХ КОРПУСОВ МОРСКИХ СУДОВ

Защита судов и кораблей от коррозии – важная государственная задача, в решении которой должны участвовать экипажи судов и кораблей. Для решения этой задачи на судах необходимо иметь электроды сравнения для контроля протекторной защиты корпусов морских судов. На многих судах электроды сравнения отсутствуют. В ходе экспериментов мы контролировали работу протекторной защиты стального корпуса вспомогательного морского судна ПМ-15, находящегося в долговременном стояночном режиме. Для этого измеряли потенциал корпуса судна в заданной контрольной точке. Были использованы следующие электроды сравнения: хлорсеребряный электрод сравнения (ХСЭ), рекомендованный для использования на российских судах нормативными документами; цинковый электрод сравнения, рекомендованный для использования на зарубежных судах; экспериментальный электрод ДВ-2, разработанный авторами статьи. С помощью каждого электрода сравнения в течение одного дня (15.08.2020) выполнили 50 параллельных измерений потенциала корпуса судна. Интервал времени между параллельными измерениями – 5 секунд. Точность результатов измерений оценивали согласно нормативным требованиям. Из результатов исследований следует: все использованные в эксперименте электроды сравнения обеспечивают высокую точность результатов контрольных измерений. При этом следует отметить дороговизну ХСЭ по сравнению с остальными электродами и сложность процедуры хранения ХСЭ. Аспиранты и студенты КамчатГТУ, участвовавшие в испытаниях разных электродов сравнения, отдают предпочтение экспериментальному электроду сравнения ДВ-2.

Ключевые слова: защита судов от коррозии, система электрохимической защиты судна от коррозии, контроль потенциала корпуса судна, электроды сравнения, коррозионные испытания корпуса судна.

D.P. Yastrebov, V.A. Shvetsov, A.O. Rogozhnikov, G.V. Kuznetsov, A.P.Ushakevich

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

TO THE QUESTION OF SELECTION OF ELECTRODES OF COMPARISON FOR CONTROL OF SACRIFICIAL PROTECTION OF STEEL HULLS OF SEA SHIPS

Protection of ships and vessels from corrosion is an important state problem which should be solved by crews of ships and vessels. To solve this problem it is necessary to have reference electrodes to control the sacrificial protection of the hulls of sea vessels. Many ships do not have reference electrodes. In the course of the experiments, the operation of the tread protection of the steel hull of the auxiliary marine vessel PM-15, which was in a long-term standby mode, was monitored. For this, the potential of the ship's hull was measured at a given control point. The following reference electrodes were used, such as: silver chloride reference electrode (CSE), recommended for use on Russian ships by regulatory documents; zinc reference electrode, recommended for use on foreign ships; experimental electrode DV-2, developed by the authors of the article. Using each reference electrode, 50 parallel measurements of the vessel's hull potential were carried out within one day (August 15, 2020). The time interval between parallel measurements is 5 seconds. The accuracy of the measurement results was assessed in accordance with regulatory requirements. The research results show that all reference electrodes used in the experiment ensure high accuracy of the control measurements. It should be noted the high cost of in comparison with other electrodes and the complexity of CSE storage procedure. It should also be noted that graduate students and post-graduate students of Kamchatka State Technical University who participated in the tests of different reference electrodes prefer the experimental reference electrode DV-2.

Key words: ship protection against corrosion, electrochemical protection system against corrosion, monitoring of the hull potential, reference electrodes, corrosion tests of the hull.

Защита судов и кораблей от коррозии – важная государственная задача, в решении которой должны участвовать экипажи судов и кораблей [1–6]. Для решения этой задачи на судах необходимо иметь электроды сравнения для контроля протекторной защиты корпусов морских судов [1–6]. На многих судах электроды сравнения отсутствуют [7–9].

Цель статьи – обмен опытом, необходимым для выбора судовых электродов сравнения.

Контролировали работу протекторной защиты стального корпуса вспомогательного морского судна ПМ-15, находящегося в долговременном стояночном режиме [5]. Для этого измеряли потенциал корпуса судна [5, 6] в заданной контрольной точке [10]. Использовали методику измерений, приведенную в работах [11–17] и следующие электроды сравнения:

- хлорсеребряный электрод сравнения (ХСЭ), рекомендованный для использования на российских судах нормативными документами [5, 6];
- цинковый электрод сравнения, рекомендованный для использования на зарубежных судах [18];
- экспериментальный электрод ДВ-2, разработанный авторами статьи (в настоящее время проходит эксплуатационные испытания).

С помощью каждого электрода сравнения в течение одного дня (15.08.2020) выполнили 50 параллельных измерений потенциала корпуса судна. Интервал времени между параллельными измерениями – 5 с. Точность результатов измерений оценивали согласно нормативным требованиям [19]. Результаты контрольных измерений представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты контроля протекторной защиты стального корпуса вспомогательного судна ПМ-15

№ п/п	Результаты измерений потенциала корпуса судна, $U =$, мВ, полученные с помощью		
	электрода № 1 (ХСЭ)	электрода № 2 (цинковый электрод)	электрода № 3 (электрод ДВ-2)
Дата	15.08.2020	15.08.2020	15.08.2020
1	2	3	4
1	653	-346	420
2	653	-346	420
3	653	-346	420
4	653	-346	420
5	653	-346	420
6	654	-347	420
7	653	-346	420
8	653	-346	420
9	653	-346	420
10	654	-346	420
11	654	-347	421
12	653	-347	421
13	653	-346	421
14	653	-347	420
15	654	-347	420
16	653	-347	421
17	653	-347	421
18	653	-346	421
19	654	-347	421
20	654	-347	421
21	654	-347	421
22	653	-348	421
23	653	-347	420
24	653	-347	421
25	653	-347	421
26	653	-347	421
27	653	-347	421
28	653	-347	420
29	654	-347	420
30	654	-347	420
31	654	-348	421
32	654	-347	420
33	653	-347	420

1	2	3	4
34	653	-347	421
35	654	-348	421
36	654	-347	420
37	654	-348	420
38	654	-348	420
39	654	-348	420
40	654	-348	420
41	654	-348	421
42	654	-348	421
43	654	-348	421
44	654	-348	420
45	654	-348	421
46	653	-349	421
47	653	-348	421
48	653	-348	421
49	654	-349	421
50	654	-349	421

Результаты статистической обработки контрольных измерений, полученных с помощью программного обеспечения [20], приведены в табл. 2.

Таблица 2

Результаты статистической обработки результатов контрольных измерений потенциала корпуса судна ПМ-15

Характеристика	Значения статистических характеристик результатов выборочных измерений, полученных с помощью		
	электрода № 1 (ХСЭ)	электрода № 2 (цинковый электрод)	электрода № 3 (электрод ДВ-2)
Дата	15.08.2020	15.08.2020	15.08.2020
$U_{\text{ср}}$, мВ	653,48	-347,18	420,52
D	0,25	0,71	0,25
σ	0,50	0,85	0,50
V , %	0,08	-0,24	0,12

Примечание. $U_{\text{ср}}$, мВ – среднее арифметическое; D – дисперсия; σ – среднее квадратичное отклонение; V , % – коэффициент вариации.

Из результатов исследований, приведенных в табл. 1 и 2, следует, что все использованные в эксперименте электроды сравнения обеспечивают высокую точность [19] результатов контрольных измерений. При этом следует отметить:

- стоимость ХСЭ составляет 5 250–5 680 руб.; стоимость цинкового электрода сравнения составляет 545–860 руб.; стоимость экспериментального электрода ДВ-2 составляет 145–250 руб.;
- хранение ХСЭ вызывает затруднения у экипажей судов.

Следует также отметить, что аспиранты и студенты КамчатГТУ, участвовавшие в испытаниях разных электродов сравнения, отдают предпочтение экспериментальному электроду сравнения ДВ-2.

Из приведенных выше исследований делаем выводы:

1. Экипажи судов должны быть обеспечены удобными в эксплуатации электродами сравнения.
2. Подготовка операторов для контроля протекторной защиты корпусов морских судов может осуществляться в процессе научно-исследовательской работы курсантов морских вузов.

Литература

1. Зобочев Ю.Е., Солинская Э.В. Защита судов от коррозии и обрастания. – М.: Транспорт, 1984. – 174 с.
2. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: Монография / В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин. – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 109 с.

3. *Коробцов И.М.* Техническое обслуживание и ремонт флота. – М.: Транспорт, 1975. – 195 с.
4. РД 31.28.10-97 Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 05.10.2019).
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 05.10.2019).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.
7. *Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П.* Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // Эксплуатация морского транспорта. – 2017. – № 1 (82). – С. 41–48.
8. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов камчатского флота / *О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2017. – № 39. – С. 6–11.
9. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / *В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов* // Вестник астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – 2017. – № 1. – С. 29–38.
10. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *П.А. Белозеров, В.А. Швецов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин, Д.В. Коростылёв, В.А. Пахомов, С.А. Малиновский* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 28. – С. 6–11.
11. Влияние квалификации оператора на результаты измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *В.А. Швецов, П.А. Белозеров, Н.В. Адельшина, О.А. Белавина, О.Е. Петренко, Д.В. Шунькин, В.В. Кириносенко* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2014. – № 30. – С. 46–54.
12. Обоснование выбора необходимого числа параллельных измерений защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов в контрольной точке / *В.А. Швецов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин, С.А. Малиновский* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 35. – С. 40–46.
13. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей / *В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина, В.В. Кириносенко* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2016. – № 37. – С. 19–24.
14. О выборе электродов для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина* // Вестник Астраханского государственного технического университета. – 2019. – № 4. – С. 39–45.
15. Пат. 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов. / *Швецов В.А., Белозёров П.А., Шунькин Д.В., Диденко А.А., Луценко А.А., Коростылёв Д.В., Белавина О.А.*; заявитель и патентообладатель Камчатский государственный технический университет (RU). – № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014. опубл. 10.07.2015, бюл. № 19.
16. К вопросу использования стальных пластин для контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина* // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы II Международ. науч.-техн. конф. (23–25 октября 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2020. – С. 125–129.
17. О целесообразности использования хлорсеребряных электродов для контроля систем протекторной защиты стального корпуса судна / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов* // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Второй международ. науч.-техн. конф. (23–25 октября 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2020. – С. 121–124.
18. Пат. 2222001 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Способ, предусматривающий использование электрохимического шума при коррозии / *Йованчичевич В.*

заявитель и патентообладатель Бэйкер Хьюз Инкорпорейтед (US). – № 2001119059/28; заявл. 12.09.1999. опубл. 12.09.1999, бюл. № 2.

19. ГОСТ Р 8.736-2011. Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения: 05.10.2019).

20. Microsoft Office Excel 365: 2002 (16.0.12527.20278) / 10 марта 2020 (дата обращения: 27.10.2020).

УДК 620.19:629.5.023

Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.О.Рогожников, Б.В. Тарабанов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОДОВ СРАВНЕНИЯ, ВЫПОЛНЕННЫХ ИЗ НЕРЖАВЕЮЩЕЙ СТАЛИ

Коррозия приводит к износу судов, снижает их прочность и безопасность мореплавания. Для эффективной защиты морского транспорта и рыбохозяйственного комплекса необходимо усовершенствовать контроль работы систем защиты судов и кораблей от коррозии. Данный вид контроля постоянно развивается. Однако экипажи судов камчатского флота требуют более простых технических средств контроля. В первую очередь членов экипажей судов не устраивают существующие электроды сравнения, поэтому необходимо предложить экипажам удобные в эксплуатации электроды сравнения, соответствующие нормативно-техническим требованиям. Целью исследования было установление возможности использования электродов сравнения, выполненных из нержавеющей стали, в системах электрохимической защиты судов. Для этого контролировали потенциал корпуса судна ПЖС-219 в заданной контрольной точке с помощью переносного вольтметра и трех электродов сравнения. В качестве электродов сравнения использовали электроды собственной конструкции, изготовленные из разных образцов нержавеющей стали. Измерения выполняли в период времени с 29.07.2019 по 02.08.2019. Контроль потенциала корпуса выполняли с помощью 15 параллельных измерений. Интервал времени между параллельными измерениями потенциала примерно 2-3 с. Точность измерений оценивали с помощью статистической обработки результатов эксперимента. Анализ проведенных исследований показал, что измерения, выполненные с помощью электродов сравнения, изготовленных из нержавеющей стали, отличаются низким значением коэффициента вариации, что формально позволяет отнести их к точным измерениям. В то же время результаты измерений отличаются низкой стабильностью, что не позволяет рекомендовать их для контроля систем электрохимической защиты.

Ключевые слова: защита судов от коррозии, система электрохимической защиты судна от коррозии, контроль потенциала корпуса судна, электроды сравнения, коррозионные испытания корпуса судна.

D.P. Yastrebov, O.A. Belov, V.A. Shvetsov, A.O. Rogozhnikov, B.V. Tarabanov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: restart1101@mail.ru*

TO THE QUESTION OF USING MARINE ELECTRODES OF COMPARISON MADE OF STAINLESS STEEL

Corrosion leads to wear and tear of ships, reduces their strength and safety of navigation. For the effective protection of sea transport and the fishery complex, it is necessary to improve the control of the operation of the systems for protecting ships and vessels from corrosion. This type of control is constantly evolving. However, the crews of the Kamchatka fleet require simpler technical means of control. First of all, the crew members of the ships are not satisfied with the existing reference electrodes, therefore, it is necessary to offer the crews easy-to-use reference electrodes that meet the regulatory and technical requirements. The aim of the study was to establish the possibility of using stainless steel reference electrodes in the systems of electrochemical protection of ships. For this, the potential of the PZhS-219 ship hull was controlled at a given control point using an electrical measuring device and three reference electrodes. Electrodes of our own design made of different stainless steel samples were used as reference electrodes. The measurements were carried out in the time period from July 29, 2019 to August 2, 2019. The hull potential was monitored using 15 parallel measurements. The time interval between parallel potential measurements is about 2-3 s. The measurement accuracy was assessed by statistical processing of the experimental results. The analysis of the carried out studies showed that the measurements made with stainless steel reference electrodes have a low value of the coefficient of variation, which formally makes it possible to refer them to accurate measurements. At the same time, the measurement results are characterized by low stability, which does not allow them to be recommended for monitoring electrochemical protection systems.

Key words: protection of ships against corrosion, electrochemical protection system against corrosion, monitoring of the hull potential, reference electrodes, corrosion tests of the hull.

Коррозия приводит к износу судов, снижает их прочность и безопасность мореплавания [1, 2]. Поэтому защита судов от коррозии определена [1, 2] как важнейшая задача морского транспорта [3–6]. Для эффективной защиты морского транспорта необходимо усовершенствовать контроль работы систем защиты судов и кораблей от коррозии [1–6]. Данный вид контроля постоянно развивается [7–18], при этом точность результатов контроля [19] находится на достаточно высоком уровне [2]. Однако экипажи судов камчатского флота требуют от авторов удобных в эксплуатации технических средств контроля. В первую очередь членов экипажей судов не устраивают электроды сравнения, рекомендуемые в работах [3–6]. Необходимо предложить экипажам удобные в эксплуатации электроды сравнения, соответствующие нормативно-техническим требованиям [6]. Одно из возможных направлений совершенствования электродов сравнения предложено в работе [18]. В соответствии с рекомендациями автора [18] при контроле протекторной защиты корпусов судна могут быть использованы электроды, изготовленные из нержавеющей стали. Однако рекомендации [18] нуждаются в экспериментальной проверке.

Цель статьи – установить возможность использования электродов сравнения, выполненных из нержавеющей стали в системах электрохимической защиты морских судов.

Контролировали потенциал корпуса судна ПЖС-219 в заданной контрольной точке [10] с помощью переносного вольтметра (мультиметр UNI-TUT 61) и трех электродов сравнения. В качестве электродов сравнения использовали электроды собственной конструкции, изготовленные из разных образцов нержавеющей стали, обнаруженных на судне. Судно находилось в стояночном режиме у причала в г. Петропавловске-Камчатском.

Схема измерительной электрической цепи приведена на рис. 1.

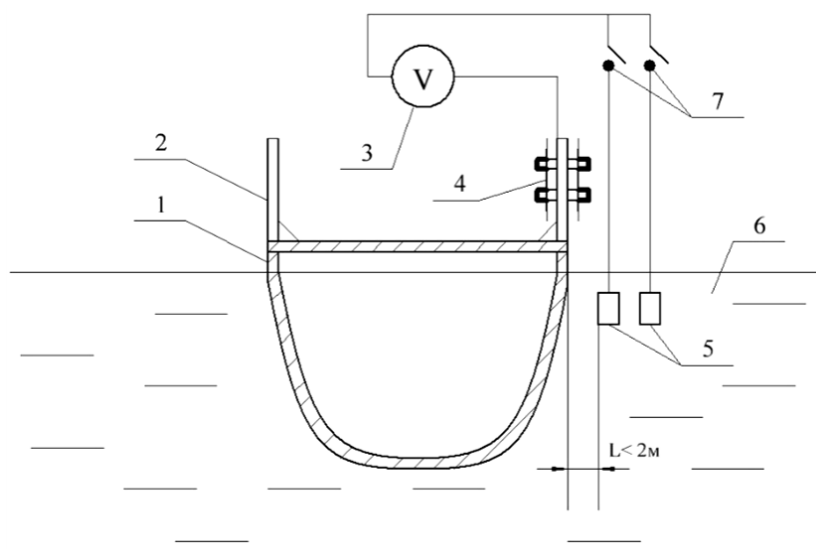


Рис. 1. Схема измерительной электрической цепи, используемой для контроля защищенности корпуса судна от коррозии: 1 – металлический корпус судна; 2 – фальшборт судна; 3 – вольтметр; 4 – прижимное устройство; 5 – электрод сравнения; 6 – морская вода; 7 – коммутрующие устройства (выключатели)

Измерения разности потенциалов между корпусом судна и электродами сравнения выполняли в соответствии с рекомендациями [7–13]. Измерения выполняли в период времени с 29.07.2019 по 02.08.2019. При этом контроль потенциала корпуса выполняли с помощью 15 параллельных измерений [2]. Интервал времени между параллельными измерениями потенциала примерно 2-3 с. Точность результатов измерений оценивали с помощью коэффициента вариации V , % [19]. Для статистической обработки результатов эксперимента использовали программное обеспечение [20]. Результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1 и 2 и на рис. 2–4. В табл. 1 приведены результаты контрольных измерений, полученных с помощью электродов № 1–3.

Результаты измерений потенциала корпуса судна ПЖС-219 в период с 29.07.2019 по 02.08.2019, полученные с помощью электродов № 1–3

№ п/п	Результаты измерений потенциала корпуса судна, $U =$, мВ, полученные с помощью электрода														
	№ 1					№ 2					№ 3				
	По датам					По датам					По датам				
	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019
1	976	980	988	992	992	945	940	963	959	956	910	908	938	945	773
2	976	980	988	990	992	945	940	963	959	956	910	908	938	945	773
3	975	980	988	990	992	945	941	963	958	956	910	908	938	945	773
4	974	980	987	989	992	945	941	962	960	956	910	908	938	945	773
5	974	980	987	989	992	944	940	962	959	957	910	908	937	944	773
6	974	980	987	989	992	944	940	962	958	956	910	908	870	944	773
7	974	979	987	989	992	944	939	962	959	956	909	907	938	944	773
8	973	979	986	988	992	944	939	963	959	957	909	907	938	944	773
9	973	979	986	988	992	944	939	962	959	956	909	907	871	944	772
10	973	978	986	989	992	944	939	962	959	956	909	907	871	943	772
11	973	978	985	988	991	944	938	962	958	956	908	907	871	943	773
12	973	978	985	988	992	944	938	962	958	956	908	907	871	943	773
13	973	978	985	988	992	944	937	961	958	957	908	906	871	943	773
14	973	976	985	988	991	943	937	961	958	957	907	906	871	943	773
15	973	976	985	988	992	943	937	961	958	957	907	906	871	943	773

В табл. 2 приведены результаты статистической обработки контрольных измерений, полученных с помощью электродов № 1–3.

Таблица 2

Результаты статистической обработки результатов контрольных измерений потенциала корпуса судна ПЖС-219 в период с 29.07.2019 по 02.08.2019, полученные с помощью электродов № 1–3

Характеристика	Значения статистических характеристик результатов выборочных измерений, полученных с помощью электрода														
	№ 1					№ 2					№ 3				
	По датам					По датам					По датам				
	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019	29.07.2019	30.07.2019	31.07.2019	01.08.2019	02.08.2019
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
$U_{\text{ср}}$, мВ	974	979	986	989	992	944	939	962	959	956	909	907	902	944	773
D	1	2	1	1	0	0	2	0	0	0	1	1	17	1	0
σ	1,04	1,34	1,13	1,08	0,34	0,61	1,31	0,68	0,61	0,47	1,06	0,74	3,41	0,80	0,34
V , %	0,11	0,14	0,12	0,11	0,03	0,06	0,14	0,07	0,06	0,04	0,12	2,85	3,53	0,08	0,04

Примечание. $U_{\text{ср}}$, мВ – среднее арифметическое; D – дисперсия; σ – среднее квадратичное отклонение; V , % – коэффициент вариации.

В табл. 2 приведены результаты статистических расчетов, полученные с помощью программной платформы [20]. Из этих результатов следует, что выборочные значения коэффициентов вариации [19] результатов измерений неоднородны.

Динамика изменений результатов измерений разности потенциалов между корпусом судна в контрольной точке и отдельными электродами показана на рис. 2–4.



Рис. 2. Динамика результатов измерений разности потенциалов между корпусом судна ПЖС-219 и электродом № 1

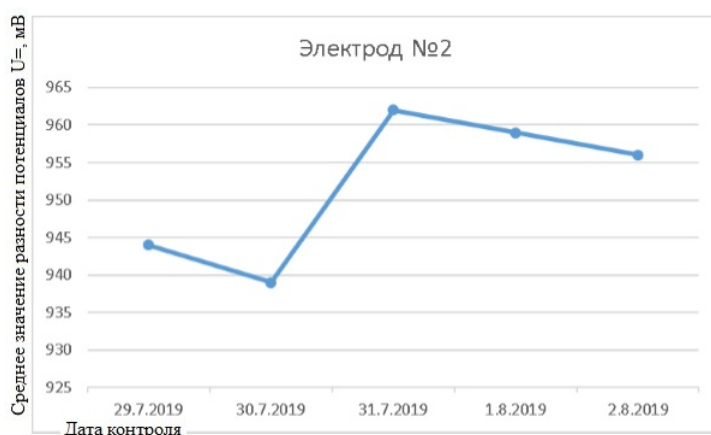


Рис. 3. Динамика результатов измерений разности потенциалов между корпусом судна ПЖС-219 и электродом № 2

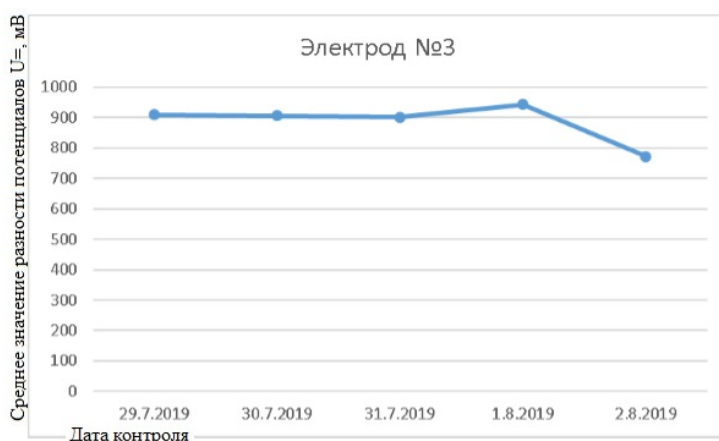


Рис. 4. Динамика результатов измерений разности потенциалов между корпусом судна ПЖС-219 и электродом № 3

Из анализа выполненных исследований, приведенных на рис. 2–4, следует:

- результаты измерений разности потенциалов, полученные с помощью электрода № 1, достаточно стабильны [6], т. к. $\Delta U < 50$ мВ;
- результаты измерений разности потенциалов, полученные с помощью электрода № 2, достаточно стабильны [6], т. к. $\Delta U < 50$ мВ;
- результаты измерений разности потенциалов, полученные с помощью электрода № 3, нестабильны [6], т. к. $\Delta U > 50$ мВ.

В результате проведенной работы были сделаны следующие выводы:

1. Результаты контроля потенциала корпуса судна, полученные с помощью электродов сравнения, выполненных из нержавеющей стали, отличаются низким значением коэффициента вариации, что формально позволяет отнести их к точным результатам измерений.

2. Результаты контроля, полученные с помощью электродов сравнения, выполненных из нержавеющей стали, отличаются низкой стабильностью во времени (неудовлетворительной повторяемостью), что не позволяет рекомендовать их для контроля систем электрохимической защиты.

Литература

1. *Зобочев Ю.Е., Солинская Э.В.* Защита судов от коррозии и обрастания. – М.: Транспорт, 1984. – 174 с.
2. Контроль систем протекторной защиты стальных судов и кораблей: Монография / *В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, Д.В. Шунькин.* – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2016. – 109 с.
3. *Коробцов И.М.* Техническое обслуживание и ремонт флота. – М.: Транспорт, 1975. – 195 с.
4. РД 31.28.10-97 Комплексные методы защиты судовых конструкций от коррозии [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200049727> (дата обращения: 05.10.2019).
5. ГОСТ 9.056-75. Стальные корпуса кораблей и судов. Общие требования к электрохимической защите при долговременном стояночном режиме [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200015017> (дата обращения: 05.10.2019).
6. ГОСТ 26501-85. Корпуса морских судов. Общие требования к электрохимической защите. – М.: Изд-во стандартов, 1985. – 7 с.
7. *Белов О.А., Швецов В.А., Ястребов Д.П.* Обоснование оптимальной периодичности контроля работы протекторной защиты стальных корпусов судов // Эксплуатация морского транспорта. – Новороссийск, 2017. – № 1 (82). – С. 41–48.
8. Внедрение усовершенствованного способа контроля систем протекторной защиты стальных корпусов судов Камчатского флота / *О.А. Белов, В.А. Швецов, Д.П. Ястребов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2017. – Вып. 39. – С. 6–11.
9. Обоснование возможности исключения внешнего осмотра систем протекторной защиты стальных корпусов судов / *В.А. Швецов, О.А. Белов, О.А. Белавина, Д.П. Ястребов* // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Морская техника и технология. – Астрахань, 2017. – Вып. 1. – С. 29–38.
10. Обоснование способа выбора контрольных точек для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *П.А. Белозеров, В.А. Швецов, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин, Д.В. Коростылёв, В.А. Пахомов, С.А. Малиновский* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2014. – Вып. 28. – С. 6–11.
11. Влияние квалификации оператора на результаты измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *В.А. Швецов, П.А. Белозеров, Н.В. Адельшина, О.А. Белавина, О.Е. Петренко, Д.В. Шунькин, В.В. Кирносенко* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2014. – Вып. 30. – С. 46–54.
12. Обоснование выбора необходимого числа параллельных измерений защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов в контрольной точке / *В.А. Швецов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина, Д.В. Шунькин, С.А. Малиновский* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2016. – Вып. 35. – С. 40–46.
13. Обоснование необходимости подготовки операторов для измерения потенциала стальных корпусов судов и кораблей / *В.А. Швецов, О.А. Белов, П.А. Белозеров, О.А. Белавина, В.В. Кирносенко* // Вестник Камчатского государственного технического университета. – Петропавловск-Камчатский, 2016. – Вып. 37. – С. 19–24.
14. О выборе электродов для контроля систем протекторной защиты стальных судов и кораблей / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина* // Вестник Астраханского государственного технического университета. – Астрахань, 2019. – Вып. 4. – С. 39–45.

15. Пат. 153280 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Устройство для измерения защитного потенциала стальных корпусов кораблей и судов / *Швецов В.А., Белозёров П.А., Шунькин Д.В., Диденко А.А., Луценко А.А., Коростылёв Д.В., Белавина О.А.* / Заявитель и патентообладатель Камчатский государственный технический университет (RU). – № 2014142289/28; заявл. 20.10.2014. опубл. 10.07.2015, бюл. № 19.

16. К вопросу использования стальных пластин для контроля протекторной защиты корпусов судов и кораблей / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, О.А. Белавина, С.А. Зайцев* // Материалы Второй международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития» / Отв. за выпуск О.А. Белов – 2020. – С. 125–129.

17. О целесообразности использования хлорсеребряных электродов для контроля систем протекторной защиты стального корпуса судна / *Д.П. Ястребов, О.А. Белов, В.А. Швецов, А.П. Ушакевич, Г.В. Кузнецов* // Материалы Второй международной научно-технической конференции «Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития» / Отв. за выпуск О.А. Белов. – 2020. – С. 121–124.

18. Пат. 2222001 Российская Федерация, U1 МПК G01N 17/02 (2006.01). Способ, предусматривающий использование электрохимического шума при коррозии / *Йованчичевич В.*; заявитель и патентообладатель Бэйкер Хьюз Инкорпорейтед (US). – № 2001119059/28; заявл. 12.09.1999. опубл. 12.09.1999, бюл. № 2.

19. ГОСТ Р 8.736-2011 Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Измерения прямые многократные. Методы обработки результатов измерений. Основные положения [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200089016> (дата обращения 05.10.2019).

20. Microsoft Office Excel365: 2002 (16.0.12527.20278) / 10 марта 2020 (дата обращения: 27.10.2020).

СЕКЦИЯ 2. ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ И СИСТЕМЫ И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 639.2/.3:(62-519:62-835)

И.С. Аврейцевич¹, С.Ю.Труднев²

¹ *Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683002;*

² *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: irinaavrejcevic@gmail.com*

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА КОНТРОЛЯ ВЫЛОВА ВОДНЫХ БИОРЕСУРСОВ

Материал посвящен разработке устройства контроля вылова водных биоресурсов. Представлена идея устройства, а также дано подробное ее описание. Обоснованы основные преимущества предлагаемого устройства перед альтернативными методами контроля.

Ключевые слова: контроль, реки, зона добычи, камера, водные биоресурсы.

I.S. Avreytsevich¹, S. Yu. Trudnev²

¹ *Scientific Research Geotechnological Center FED RAS,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002;*

² *Kamchatsky State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: irinaavrejcevic@gmail.com*

DEVELOPMENT OF A CATCH CONTROL DEVICE FOR AQUATIC BIOLOGICAL RESOURCES

The article is devoted to the development of a device for monitoring the catch of aquatic biological resources. The idea of the device is presented, as well as a detailed description of it. The main advantages of the proposed device over alternative control methods are justified.

Key words: control, rivers, area of production, camera, water biological resources.

Сегодня все чаще мелькают сообщения о все учащающихся случаях нарушения законодательства «Об охране окружающей среды». С каждым днем браконьеров становится все больше, причина этого – широкое распространение орудий лова и их незначительная цена. Ущерб, наносимый браконьерами выловом камчатского лосося, неисчислимы. По данным Федеральной службы государственной статистики, выпуск лососевых рыб ежегодно увеличивается и составляет, к примеру, в 2019 г. – 222,8 тыс. т, что превышает показатели 2015 и 2016 гг. [1]. Цифры говорят о том, вылов намного превышает воспроизводство.

В настоящее время существует единственный эффективный метод отслеживания незаконной добычи рыбы – патрулирование органами правопорядка. Шум лодок, проходящих рыболовные участки, и длительность прибытия до места из-за сложных природных условий делают этот метод неэффективным и свидетельствуют о несовершенстве методов контроля, морально устаревшей материальной базе и недостаточной оснащенности инспекторов рыбоохраны.

На участках рыбной ловли возле пос. Рыбачий (рис. 1) можно заметить, что есть два места в близости от населенного пункта, а второе – вдалеке от него, что затрудняет проверку на данном участке. На рисунке 1 обозначен и участок лицензионного лова (отмечен синим цветом), где тоже должен осуществляться непосредственный контроль.



Рис. 1. Зоны добычи водных биоресурсов

Для решения проблемы браконьерства в указанных местах предлагается система автоматического контроля добычи рыбы, предназначенная для круглосуточного мониторинга ее вылова непосредственно на месте вероятностного лова. За счет установки камер в ключевых точках для просмотра данных зон (рис. 2) система обеспечит огромный радиус и дальность обзора.



Рис. 2. Места расположения камер контроля

Для достижения наилучших углов обзора участки для установки камер [2] выбраны с учетом ландшафтных особенностей.

На рис. 3 представлена рабочая схема устройства.

Устройство работает следующим образом: непрерывный мониторинг с двух камер позволяет автоматическим системам слежения с помощью алгоритмических анализов распознавать объекты в поле их видимости. При обнаружении объекта, отвечающего заданным параметрам, система автоматически отмечает и сигнализирует на центральный пост управления, откуда будут приниматься необходимые меры. Для ночного контроля камеры будут снабжены инфракрасными датчиками и смогут осуществлять контроль даже при плохих погодных условиях. Помимо этого система будет вести запись процесса браконьерства для того, чтобы предоставить сотрудникам неопровержимые улики.

Таким образом, помимо возможности непрерывного ручного контроля местности, система обладает способностью автоматически распознавать и оповещать инспекторов рыбного хозяйства о нарушениях в момент их совершения. Это позволит контролировать незаконный вылов и потребление водных биоресурсов на Камчатском полуострове.

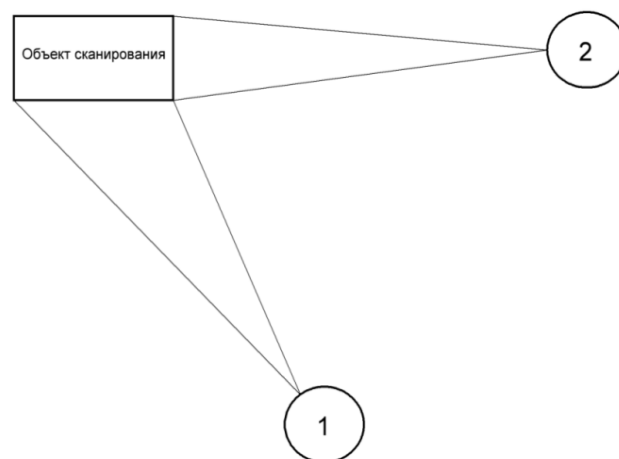


Рис. 3. Устройство контроля вылова водных биоресурсов:
1, 2 – камеры

Литература

1. Кругль Г. Профессиональное видеонаблюдение. Практика и технологии аналогового и цифрового CCTV. – М.: Секьюрити Фокус, 2010. – 640 с.
2. Уловы лосося на Камчатке [Электронный ресурс] // Рыба Камчатского края. – URL: <http://fishkamchatka.ru/articles/kamchatka/20964/?month=04&year=2019> (дата обращения: 09.11.2020).

УДК 621.395.74

Е.А. Барабанова^{1,2}, К.А. Выговтов^{1,2}, Е.А. Романова², А.Н. Федоровская²

¹ *Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН,
Москва, 117997;*

² *Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, 414056
e-mail: elizavetaalex@yandex.ru*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПОЛНОСТЬЮ ОПТИЧЕСКОЙ КОММУТАЦИИ

В работе рассматриваются перспективы полностью оптической коммутации. Проводится анализ существующих технологий и принципов работы оптических коммутаторов. В качестве одной из передовых технологий в направлении развития полностью оптических сетей отмечена технология селективного частотного переключения WSS и рассмотрены особенности функционирования WSS-устройств.

Ключевые слова: полностью оптическая коммутация, длина волны, мультиплексор, MEMS-коммутатора.

E.A. Barabanova^{1,2}, K.A. Vytovtov^{1,2}, E.A. Romanova², A.N. Fedorovskaya²

¹ *Institute for Management Problems. V.A. Trapeznikov RAS,
Moscow, 117997;*

² *Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, 414056
e-mail: elizavetaalex@yandex.ru*

FULL OPTICAL SWITCHING PROSPECTS

The paper discusses the prospects for full optical switching. The analysis of existing technologies and principles of optical switching operations is carried out. The technology of selective frequency switching WSS is noted as one of the leading technologies in the development of full optical networks. The features of the functioning of WSS devices are considered.

Key words: full optical switching, wavelength, multiplexer, MEMS-switch.

В связи с ростом объемов трафика и переходом сетей на 5G стандарт пропускной способности существующих транспортных сетей операторов связи становится недостаточным для обеспечения абонентов качественной связью.

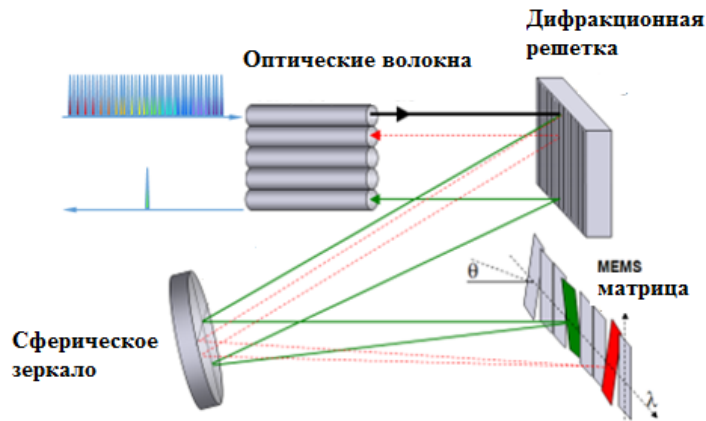
Одним из способов повышения пропускной способности транспортных сетей является переход на полностью оптические технологии [1, 2]. В этой связи наиболее эффективным решением становится использование технологии DWDM. Данная технология предусматривает объединение и передачу независимых оптических информационных потоков по одному волокну на разных длинах волн. Это значит, что оператор связи может увеличить пропускную способность своих волокон без серьезных капиталовложений, связанных со строительством или арендой новых волокон. В связи с этим рассмотрение тенденций развития данной технологии в рамках перехода к полностью оптическим сетям является актуальной задачей.

Принципы WSS-коммутации. В последние годы для построения оптических сетей WDM используются так называемые устройства селективного переключения по длине волны (Wavelength selective switching, WSS) [3]. Данная технология позволяет маршрутизировать оптические сигналы между оптическими волокнами для каждой длины волны.

В основе WSS-коммутатора лежит оптическая матрица, которая распределяет сигналы на различных длинах волн по выходным портам устройства без необходимости физического их разделения. Так, например, система WDM на 40 каналов позволяет переключать сигналы, поступающие из оптического волокна к любому из m волокон с использованием $40 \times m$ коммутаторов.

В отличие от коммутационной матрицы $m \times m$, которая традиционно лежит в основе оптического мультиплексора, архитектура WSS позволяет упростить построение полностью оптической сети.

Архитектура WSS-коммутатора. Принцип работы WSS-коммутатора приведен ниже на рисунке. Входящие потоки информации, передаваемые от общего волокна, распределяются по коммутационному элементу, который затем направляет и ослабляет каждый из этих потоков независимо от m портов. В большинстве случаев в качестве коммутационного элемента используются микроэлектронные механические системы MEMS (Micro-Electro-Mechanical System) [4].



Принцип построения WSS-коммутатора

В основе разделения каналов лежит принцип работы дифракционной решетки, которая разделяет оптический сигнал по спектру. После дифракционной решетки сигналы отражаются от зеркала и направляются на коммутационную матрицу, а затем в обратном направлении – на выходные порты. Коммутатор WSS может работать в дуплексном режиме, поэтому сигналы на различных длинах волн могут мультиплексироваться из различных портов в один общий порт. На сегодняшний день для реализации WSS-технологии в большинстве случаев применяется фиксированная пропускная способность канала 50 или 100 ГГц и 9 выходных портов.

У систем, основанных на MEMS-переключателях, есть определенные недостатки, такие как сложность изготовления микрзеркал, а также недостаточная механическая прочность. Кроме этого, скорость поворота зеркал ограничена, и добиться ее увеличения можно за счет уменьшения углов отклонения зеркал. Данная технология получила название «быстрых микроэлектронных механических систем». Но и при уменьшении углов поворота зеркал скорость коммутации в таких системах составляет от нескольких миллисекунд, что не удовлетворяет требованиям к системам связи нового поколения.

В данной работе рассмотрена одна из перспективных технологий построения полностью оптических сетей связи. Следует отметить, что в основе коммутационной матрицы WSS-устройств могут лежать различного рода оптические устройства, и это не только MEMS-переключатели, но и системы на многослойных световодных жидкокристаллических матрицах, а также электрооптические структуры, основанные на современных материалах, таких как, например, метаматериалы и нанопленки.

Литература

1. Барабанова Е.А. Оптическая двухкаскадная коммутационная система для обработки больших объемов данных // Научный вестник НГТУ. – 2018. – № 1 (70). – С. 7–18.
2. Модель и алгоритм работы оптического коммутатора 4×4 / Е.А. Барабанова, К.А. Вытовтов, И.О. Барабанов, Н.С. Мальцева // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2019. – № 2. – С. 48–54.
3. Wavelength selective switch array employing silica based wave guide front end with integrated polarization diversity optics / Yohei Sakamaki, Kota Shikama, Yuichiro Ikuma, and Kenya Suzuki // *Optics Express*. – 2017. – Vol. 25. – № 17. – P. 19946–19980.
4. Салех Б., Тейх-Долгопрудный М. Оптика и фотоника. Принципы и применения / Пер. с англ.: в 2 т. Т. 2. – М.: Издательский Дом «Интеллект». – 2012. – 784 с.

УДК 621.313.2

Д.С. Данилов, А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: ryzen.01@mail.ru, marchenko_alx@inbox.ru*

ПРОБЛЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕКУПЕРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ В ГРЕБНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ УСТАНОВКАХ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Сегодня гребные электрические установки на переменном токе вытесняют системы постоянного тока. Прежде всего, это связано с рядом преимуществ преобразователей частоты и появлением таких систем, сравнимых с гребными электрическими установками мощностей. Авторами данной статьи рассмотрен процесс рекуперации электрической энергии на переменном токе. Если в системах на постоянном токе процесс рекуперации не является проблемой, то в системах с преобразователем частоты этот процесс затруднен применением неуправляемых выпрямителей.

Ключевые слова: гребные электрические установки, преобразователь частоты, рекуперация.

D.S. Danilov, A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: ryzen.01@mail.ru, marchenko_alx@inbox.ru*

ELECTRICAL POWER RECOVERY PROBLEMS FOR FREQUENCY CONVERTERS IN AC PROPELLER ELECTRICAL INSTALLATIONS

Today, AC propeller electric installations displace DC systems. First of all, this is due to a number of advantages of frequency converters and the advent of such systems comparable to propeller power plants. The authors of this article considered the process of recovery of electric energy at alternating current. The recovery process is not a problem in DC systems, but in systems with a frequency converter this process is hindered by the use of uncontrolled rectifiers.

Key words: propeller electric installations, frequency converter, recovery.

Сегодня гребные электрические установки (ГЭУ) на переменном токе вытесняют системы постоянного тока. Прежде всего это связано с рядом преимуществ установок на переменном токе. Такие установки обладают более высоким коэффициентом полезного действия, так как гребные электродвигатели переменного тока имеют данное преимущество. Также имеет место преимущество в габаритных показателях. Особенно это важно в условиях ледового плавания. Основные плюсы, определившие значительное распространение гребных электрических установок, – это широкий диапазон и плавность регулирования. Данные свойства достигаются при помощи применения преобразователей частоты (ПЧ).

Одним из режимов работы гребной электрической установки является торможение. Существует несколько способов торможения гребного электродвигателя (ГЭД).

Режим генераторного торможения ГЭУ осуществляется путем уменьшения частоты по определенному закону. Энергия отдается через СПЧ в сеть или на автономный генератор. Значения тормозного момента ГЭД и рекуперированной активной мощности зависят от скорости замедления вращающегося поля ГЭД (отрицательного скольжения). При медленном изменении частоты ГЭД остается в двигательном режиме в течение всего времени торможения и не рекуперировывает активную энергию. Такой режим может использоваться в автономных ГЭУ.

Наиболее перспективным с точки зрения энергоэффективности является генераторное торможение с отдачей электрической энергии в сеть. Существуют некоторые сложности

в рекуперации электрической энергии в процессе торможения, прежде всего связанные с конструкцией преобразователей частоты.

По виду связи нагрузки (ГЭД) с источником энергии (генератором или сетью) СПЧ делятся на три принципиально различных типа: с промежуточным звеном постоянного тока (инверторные СПЧ); с промежуточным звеном переменного тока повышенной частоты; с непосредственной связью (циклоконвертеры). В СПЧ со звеном постоянного тока (ПЧТ) производится двукратное преобразование энергии: выпрямление переменного тока с помощью НВ или УВ и последующее его преобразование в переменный ток регулируемой частоты с помощью инвертора.

Варианты структурных схем ПЧТ приведены на рис. 1. Инвертор может быть как автономным, так и ведомым. Выпрямитель и инвертор могут работать независимо друг от друга либо с естественной, либо с принудительной коммутацией, поэтому ПЧТ по типу коммутации могут быть представлены всеми тремя классами [1]. Перспективно использование инверторов с отдельными коммутирующими конденсаторами. Установленная мощность ПЧТ является одним из главных критериев при оценке конкретного варианта.

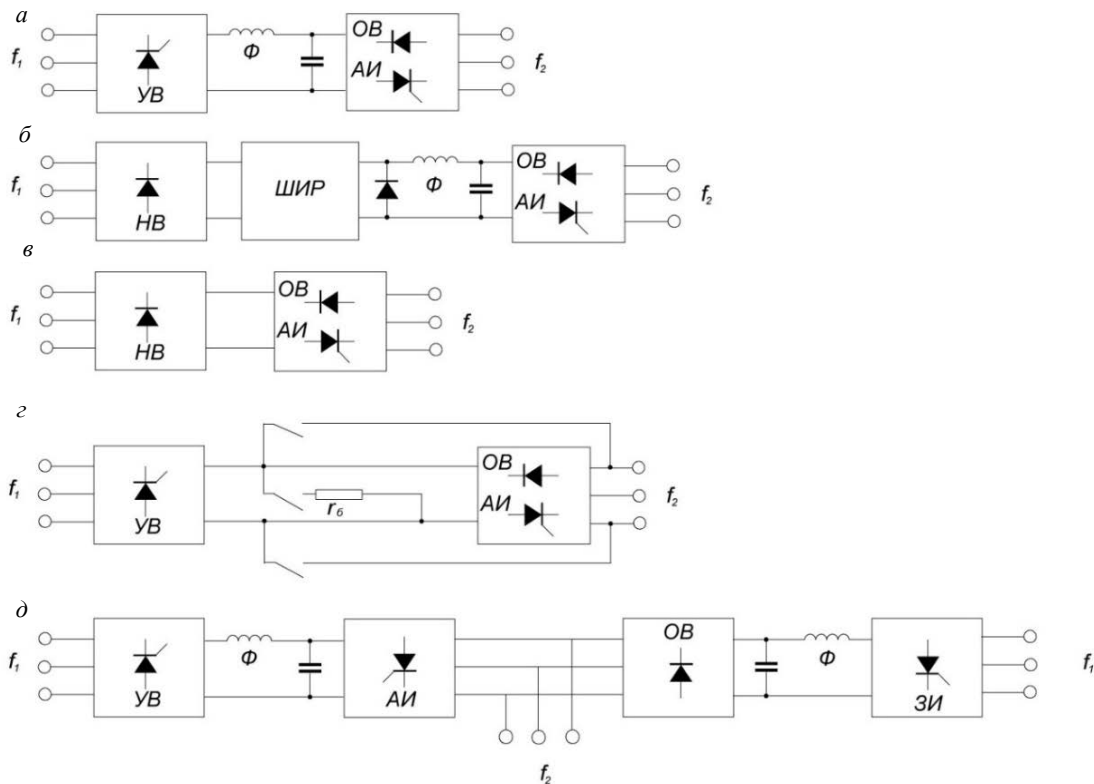


Рис. 1. Структурные схемы ПЧТ

На рис. 1, б приведена диаграмма напряжений u_2 на нагрузке z_n при подаче импульсов поочередно сначала на тиристоры группы I, а затем на тиристоры группы II. Импульс подается с углом сдвига (управления) и через промежутки времени t после момента, когда анод этого тиристора получил самый высокий потенциал. Запирание тиристора происходит, когда ток в цепи анода упадет до нуля. T_1 – период напряжения на входе преобразователя, T_1/m_1 – время, соответствующее углу сдвига между фазными напряжениями. Как видно из диаграммы, тиристоры $T1 - T3$ группы I формируют положительный полупериод (время $T_2/2$) выходного напряжения u_2 . Отрицательный полупериод создается при подаче отпирающих импульсов на тиристоры группы II. Таким образом, на резисторе нагрузки z_n создается напряжение u_2 с частотой f_2 . Амплитуда выходного напряжения зависит от угла управления α тиристорами.

Частота выходного напряжения f_2 ниже, чем частота питающей сети f_1 . Если нет паузы между полупериодами выходной частоты, то можно воспользоваться формулой $f_2 = f_1 m_1 (2n + m_1)$, где $n = 0, 1, 2, 3$; m_1 – число фаз, в данном случае равное 3.

Изменяя число n , можно получить ряд дискретных значений частоты f_2 , если $f_1 = 50$ Гц: 50; 30; 21,4; 16,6; 13,6 и т. д.

Для плавного регулирования выходной частоты преобразователя необходимо вводить паузу t_n между выключением тиристоров группы I и включением тиристоров группы II (рис. 1, в). Эта пауза предотвращает одновременную проводимость тиристора группы, выходящей из работы, и тиристора группы, вступающей в работу. Длительность паузы должна быть не меньше времени восстановления запирающих свойств тиристоров. В противном случае возникает короткое замыкание между фазами вторичной обмотки трансформатора.

В однофазной цепи переменного тока с активно-индуктивной нагрузкой индуктивная мощность изменяется с двойной частотой. При росте силы тока от нуля до максимального значения индуктивная мощность передается от источника к приемнику и запасается в магнитном поле нагрузки, при спаде силы тока от максимального значения до нуля индуктивная мощность возвращается к источнику. При работе преобразователя частоты на активно-индуктивную нагрузку энергия, накопленная в магнитном поле нагрузки, может быть возвращена обратно в первичную сеть [2]. Для передачи энергии в первичную сеть тиристоры T1 – T3 группы I переводятся в инверторный режим при отрицательном напряжении, а тиристоры T4 – T6 группы II – при положительном напряжении. Перевод группы тиристоров из выпрямительного режима в инверторный осуществляется системой управления при увеличении угла управления α до значений, больших 90° .

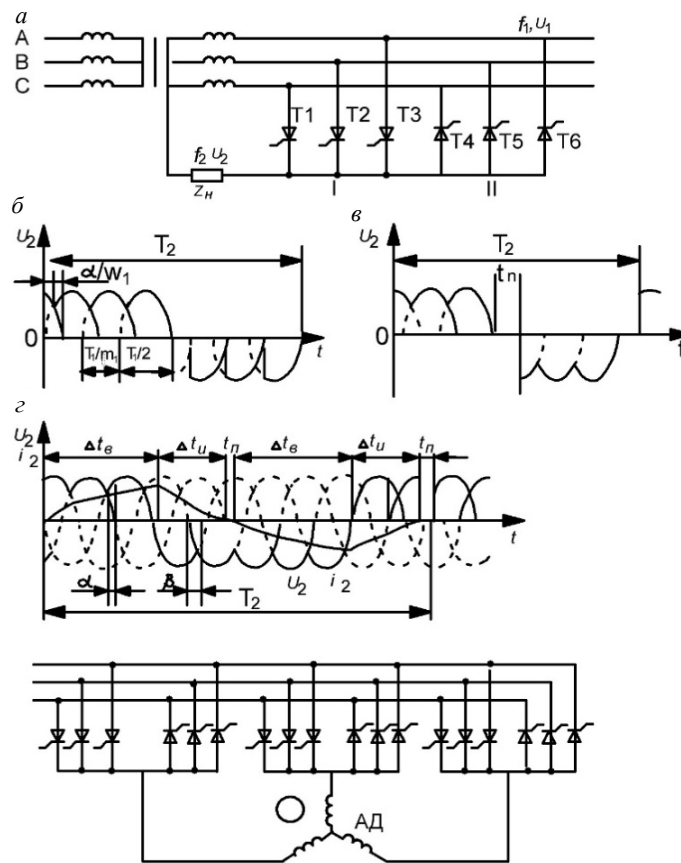


Рис. 2. Трехфазный непосредственный преобразователь частоты

Из диаграммы на рис. 2, *г* видно, что ток i_2 в нагрузке увеличивается в течение времени Δt_v , когда преобразователь работает в выпрямительном режиме.

Уменьшение тока i_2 происходит на участке Δt_{in} , где преобразователь для передачи энергии в первичную сеть переводится в инверторный режим. Угол β называется углом опережения, он численно равен:

$$\beta = \pi - \alpha, \text{ при } \alpha > \pi/2.$$

Схема трехфазного непосредственного преобразователя частоты приведена на рис. 2. Для каждой фазы асинхронного двигателя АД используется трехфазно-однофазная схема. Трехфазный ток статора протекает от начала одной фазы на две другие или только по двум фазам. В соответствии с этим схема управления тиристорами подает сигналы на их открывание по группам.

Недостатком схем непосредственных преобразователей частоты является низкий коэффициент мощности при регулировании выходного напряжения, так как это осуществляется изменением угла управления α . К недостаткам следует отнести несинусоидальную форму кривой выходного напряжения, что является причиной увеличения потерь в стали двигателя.

Работа тиристоров в инверторном режиме с целью рекуперации электрической энергии может также осуществляться в статических ПЧ со звеном постоянного тока. Основной проблемой в данной системе является необходимость в установке управляемого мостового выпрямителя на входе ПЧ. Сегодня в ГЭУ переменного тока с ПЧ используются неуправляемые выпрямители, а обратная энергия рассеивается в виде тепла на нагрузочном резисторе. Для рассмотрения целесообразности такой модернизации в первую очередь необходимо провести дополнительные исследования с оценкой отдаваемой в сеть мощности. Мощность ГЭУ на современных судах ледокольного типа позволяет рассматривать применение специализированных ПЧ со звеном постоянного тока с целью рекуперации при торможении.

Литература

1. *Труднев С.Ю.* Компьютерное моделирование полупроводниковых преобразователей // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 52. – С. 18–26.
2. *Марченко А.А., Портнягин Н.Н.* Моделирование процесса динамического нагружения асинхронного электродвигателя // Современные проблемы науки и образования. – Пенза. – 2012. – № 6. – С. 125–125.

УДК 639.2/.3:62-835

М.А. Исланбеков¹, С.Ю.Труднев²

¹ *Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН,
Петропавловск-Камчатский, 683002;*

² *Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: nabi.ne@mail.ru*

РАЗРАБОТКА МИНИ-АЭРОСТАТА ДЛЯ МОНИТОРИНГА РЕК НА НЕБОЛЬШИЕ РАССТОЯНИЯ

Материал посвящен разработке мини-аэростата. Представлена схема сборки и дано подробное описание. Произведен обзор возможных для применения компонентов наполнения аэростата. Обоснованы основные преимущества предлагаемого устройства.

Ключевые слова: аэростат, реки, мониторинг, рыболовство, браконьеры.

M.A. Islanbekov¹, S.Yu. Trudnev²

¹ *Scientific Research Geotechnological Center FED RAS,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683002;*

² *Kamchatsky State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: nabi.ne@mail.ru*

DEVELOPMENT OF A MINI BALLOON FOR MONITORING RIVERS OVER SHORT DISTANCES

This article is dedicated to the development of a mini-balloon. The assembly diagram is presented and a detailed description is given. The review possible of applicable components-filling of the balloon is made. The main advantages of the proposed device are justified.

Key words: balloon, rivers, monitoring, fishing, poachers.

На сегодняшний день уделяется большое внимание проблеме браконьерства. В настоящий момент не хватает сотрудников по борьбе с незаконным промыслом водных биоресурсов. И они не успевают предотвратить все случаи незаконного вылова рыбы на реках. Естественно, для улучшения работы сотрудников рыбоохраны требуются более современные технологии. В настоящее время инспектор производит только визуальный осмотр береговой линии водоемов без каких-либо приспособлений, естественно, качество осмотра и эффективность обнаружения браконьеров минимальны. Учитывая малочисленность сотрудников рыбоохраны, а также сложность рельефа и погодные условия, количество обнаружений становится еще меньше. Данную проблему можно решить при помощи оснащения инспектора рыбоохраны современным и качественным оборудованием.

Так, например, в последнее время для мониторинга местности сотрудниками рыбоохраны используются беспилотные летательные аппараты.

В данном материале предлагается создать аэростат небольшого размера, позволяющий совершать полеты на небольшие расстояния с целью выявления фактов браконьерства.

Существуют разные виды беспилотных аппаратов:

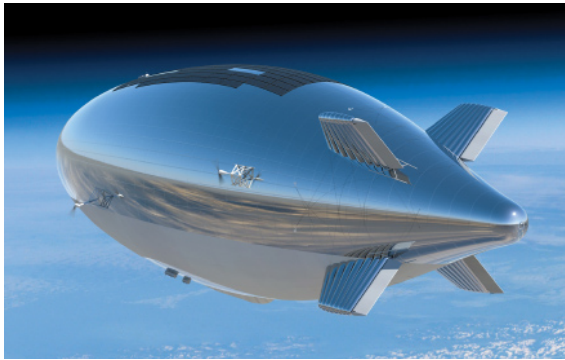
– беспилотные самолеты – беспилотники данного типа применяют прежде всего для мониторинга площадных и линейных участков местности; беспилотные вертолеты – машины этого типа используются для оперативного мониторинга локальных участков местности;

– беспилотные аэростаты – современные высокоэффективные аппараты, предназначенные для разведки и наблюдения местности на высоте до 400 м, – легкие, надежные, мобильные машины, способные долгое время работать в режиме реального времени [1, 2].

Необходимо более подробно рассмотреть структуру и принцип работы аэростата. По сравнению с самолетами и вертолетами у него есть ряд существенных преимуществ, благодаря которым он превосходит остальные в его узкой специализации. А именно – это большое время работы без источника питания. Для сравнения: беспилотный самолет держит заряд 8 часов, вертолет 3 часа, а аэростат около 3 суток. Так как браконьеры занимаются добычей рыбы часто в отдаленных от поселений местах, это преимущество является очень важным. Также данный самолет является бесшумным и не привлекает внимания, особенно если покрасить его в маскирующий цвет или покрыть поверхность прозрачной тканью (что защитит от вандализма со стороны браконьеров).

Предлагается спроектировать оболочку объемом 0,8–0,9 куба дирижабельной формы со смонтированной в корпус системой наблюдения и передатчика видеосигнала для визуального осмотра инспектором через планшет. Для подъема видеокамеры в подвеске достаточно подъемной силы 200 г, плюс 150–200 г на оболочку и строповку.

Оставшаяся подъемная сила нужна для сопротивления ветру. Согласно структуре и форме аэростата величина подъемной силы 400–500 г будет достаточной [3, 4]. Также следует оборудовать аэростат парой воздушных баллонетов для безопасного и управляемого подъема и снижения. Каркас из жесткой проволоки и киль позволят уменьшить влияние ветра до минимума, учитывая тот факт, что аэростат будет жестко прикреплен к земной поверхности жестким тросом (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Летательный аппарат: а – материал дирижабля; б – модель аэростата

Если поднять его на высоту 150 м, то уровень обзора будет составлять 43,8 км. Высота в 50 м позволит иметь радиус обзора 7–8 км. Самая дорогостоящая часть аэростата – это видеокамера. Проанализировав все виды камер, было принято решение использовать камеры типа «рыбий глаз», ее конструктивные особенности позволяют иметь обзор 360 градусов.

Следующая дорогостоящая часть – наполняющее вещество. Исследовав газы-наполнители, приведенные в таблице, можно сделать вывод, что наиболее оптимальными наполнителями являются водород и гелий, но из-за высокой взрывоопасности водорода было принято решение использовать гелий.

Характеристика наполнителей

Газ-наполнитель	Молекулярный вес	Подъемная сила (кг/м ³)
Водород	2	1,205
Гелий	4	1,116
Метан	16	0,580
Аммиак	27	0,536
Азот	28	0,045

Профиль и развертка «лепестка» представлена на рис. 2. На нем также есть структурная схема габаритов дирижабля. Основным преимуществом такого аэростата будет высокая автономность за счет установки солнечных батарей, которые увеличат время нахождения в воздухе.

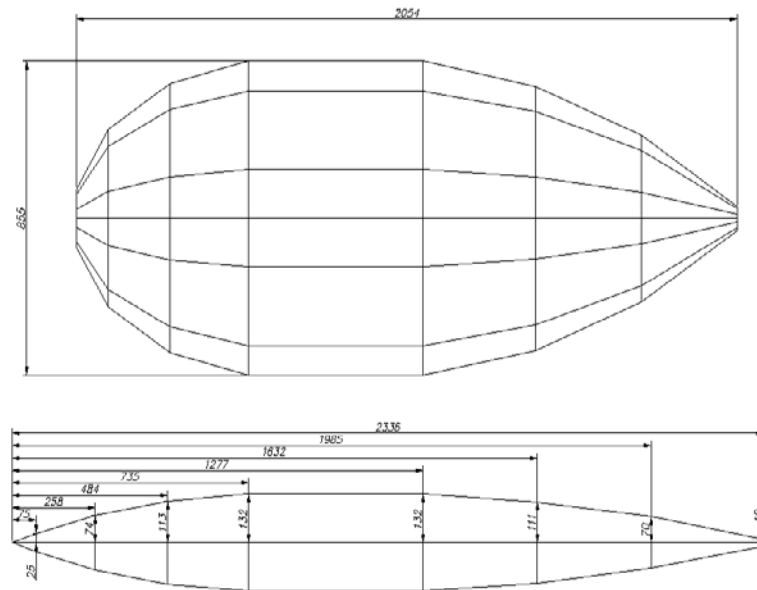


Рис. 2. Развертка

Главная задача Федерального агентства по рыболовству – сохранение водных биоресурсов. Борьбу с браконьерами осуществляет Северо-Восточное территориальное управление Камчатского края, в котором работают около сотни сотрудников рыбоохраны, чего недостаточно для охвата всей территории нерестовых рек Камчатки. Исходя из этого, целесообразно увеличить техническую оснащенность для улучшения качества работы каждого сотрудника. В настоящий момент этого можно достичь, применяя новые методы обнаружения.

Литература

1. Малые беспилотные летательные аппараты: теория и практика / Р.У. Биард, Т.У. Мак-Лэйн / Ред. перевода Г.В. Анцев; пер. с англ. А.И. Демьяникова. – М.: Техносфера, 2015. – 312 с.
2. Физические свойства и применение благородных газов // Murzim.Ru: Сайт. – URL: <http://murzim.ru/nauka/himiya/19971-fizicheskie-svoystva-i-primeneniye-blagorodnyh-gazov.html> (дата обращения: 19.11.2020).
3. Строительство летательных аппаратов // Ассоциация экспериментальной авиации [Электронный ресурс]. – URL: http://www.reaa.ru/cgi-bin/yabb/YaBB.pl?catselect=general_cat (дата обращения: 11.11.2020).
4. МАИ разрабатывает аэростат для метеорологических исследований [Электронный ресурс] / МАИ. – URL: http://www.mai.ru/events/news/detail.php?ELEMENT_ID=56010 (дата обращения: 11.11.2020).

УДК 621.3:629.5

А.Н. Рак

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 83000
e-mail: Alexander.Rak@mail.ru*

ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ МОРСКИХ СУДОВ ОТ БЕРЕГОВЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

В статье рассматриваются особенности электроснабжения морских судов от береговой сети для соблюдения требований правил безопасности и обеспечения экологических норм в соответствии с международными конвенциями. Статья будет полезна не только судовым электромеханикам, но и работникам, занимающимся технической эксплуатацией флота.

Ключевые слова: морское судно, электроснабжение, береговая сеть, парниковые газы, береговая инфраструктура, кабель, индукция.

A.N. Rak

*Donetsk National Technical University,
Donetsk, 83000
e-mail: Alexander.Rak@mail.ru*

SPECIFIC FEATURES OF POWER SUPPLY OF MARINE SHIPS FROM COASTAL SOURCES OF ELECTRIC ENERGY

The article discusses specific features of the power supply of marine motor vessels from the coastal network, to comply with the requirements of safety rules and ensure environmental standards in accordance with international conventions. The article will be useful not only to ship electrical engineers, but also to workers involved in the technical operation of the fleet.

Key words: motor vessel, power supply, coastal network, greenhouse gases, onshore infrastructure, cable, induction.

Вступившее в 2005 г. приложение VI к Международной конвенции по предотвращению загрязнения атмосферы (МАРПОЛ) [1], принятое Международной морской организацией (ИМО) в 1997 г., обязывает судовладельцев или операторов принять меры к сокращению вредных выбросов в атмосферу от морских транспортных судов. К выбросам были отнесены окислы серы и азота, а также летучие органические соединения и озоноразрушающие вещества (фреоны). Из всего перечня нормирование выбросов устанавливалось только для окислов серы и азота. Дальнейшие шаги ИМО, предпринятые в данном направлении, требуют выполнения комплекса мер, направленных на повышение энергоэффективности судов [2], которое напрямую связано с количеством используемого топлива и выбросами углекислого газа (CO₂), формально не относящегося к загрязнителям, но являющегося парниковым газом (ПГ), а контроль за его выбросами подпадает под требования Рамочной конвенции ООН об изменении климата [3]. В дальнейшем, по-видимому, ИМО введет ограничения на выбросы сажи и летучих органических веществ (летучих паров нефти и нефтепродуктов).

К сожалению, в политике многих государств Евросоюза в настоящее время все чаще проблемы охраны окружающей среды используются в конкурентной борьбе с другими странами: происходит навязывание не только новых стандартов по выбросам, но и европейского оборудования для очистки выхлопных газов. Это делается не столько в целях защиты экологии, сколько для обеспечения европейским производителям рынка сбыта их экологического оборудования. В Европе сформировался крупнейший в мире рынок продукции экопрома – комплекс отраслей

с соответствующим технологическим и производственным потенциалом, обеспечивающим значительную часть (около 1 трлн долл.) мирового оборота очистного и другого экологического оборудования. Введение новых стандартов даст дополнительный толчок его развитию, но и увеличит себестоимость перевозок судами.

Правительства многих стран, портовые власти и владельцы морских судов путем поиска и изучения возможных технических решений, направленных на сокращение выбросов судов во время портовых операций, пришли к единому мнению – необходимо питание от береговой сети. Экологические характеристики электричества, вырабатываемого электростанциями на берегу, по сравнению с дизельными генераторами судов, работающими на котельном топливе, являются одним из основных преимуществ данной технологии. При таком подходе органы экологической инспекции могут находить ответы на конкретные местные проблемы, например загрязнение, а также снижение шума и вибрации вблизи портов. На рис.1 показано снижение эмиссии газов при питании судна от береговой сети.

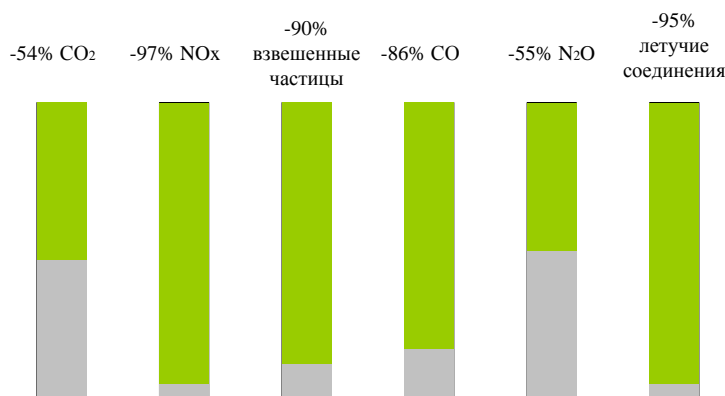


Рис. 1. Снижение эмиссии газов при питании судна от береговой сети

Таким образом, целью данной работы является ознакомление электромехаников морских судов с особенностями электроснабжения от береговой сети.

Электроснабжение в порту (рис. 2), как правило, ничем не отличается от электроснабжения небольшого предприятия.

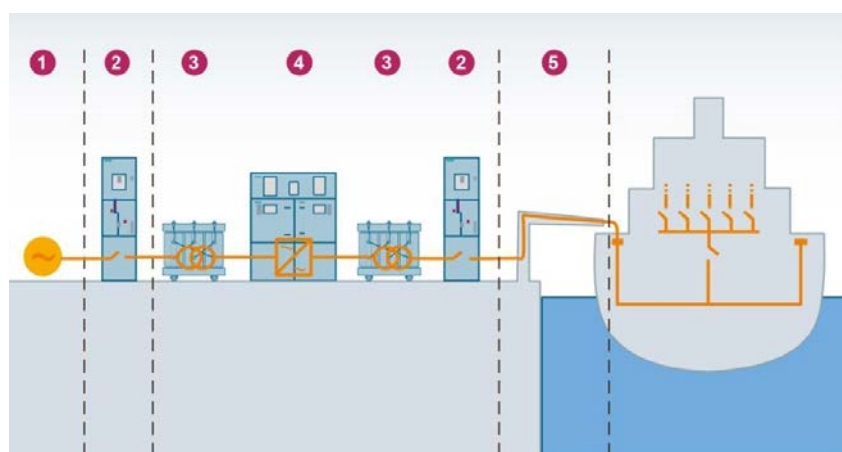


Рис. 2. Общий вид электроснабжения судна от береговой электроэнергетической системы:
 1 – генератор; 2 – высоковольтный выключатель; 3 – трансформатор; 4 – преобразователь частоты (50/60Гц), позволяющий соединять две или более сети переменного тока среднего напряжения с различными напряжениями, фазовыми углами и частотами; 5 – соединительный кабель

Для обеспечения большей привлекательности предоставления данной услуги характер и расположение мест подключения электроэнергии должны быть приведены к единому стандарту. Работа над ним стартовала в начале 2005 г. В число основных участников этой работы вошли разработчики технологических решений, правительственные органы, владельцы судов (в частности, круизных судов, танкеров и контейнеровозов), классификационные общества и др. МЭК

(Международный электротехнический комитет), ISO (международная организация по стандартизации) и IEEE (Институт инженеров по электротехнике и электронике (США)) объединили свои усилия для создания стандарта, который четко и однозначно обеспечит унификацию соединения.

Такой стандарт коснется спецификаций, монтажа и тестирования береговых систем подачи электроэнергии, станций и систем для обеспечения электромагнитной совместимости: береговая распределительная система; присоединение между берегом и судном; трансформаторы/реакторы; полупроводниковые и вращающиеся преобразователи; судовые системы распределения; управление, наблюдение, блокировка и системы управления энергией.

Прежде чем осуществлять передачу электрической энергии, необходимо подать заявку и определиться с ее количеством. Форма заявки приводится в работе [4]. Ориентировочная мощность, потребляемая различными типами судов от береговой сети, приведена на рис. 3.

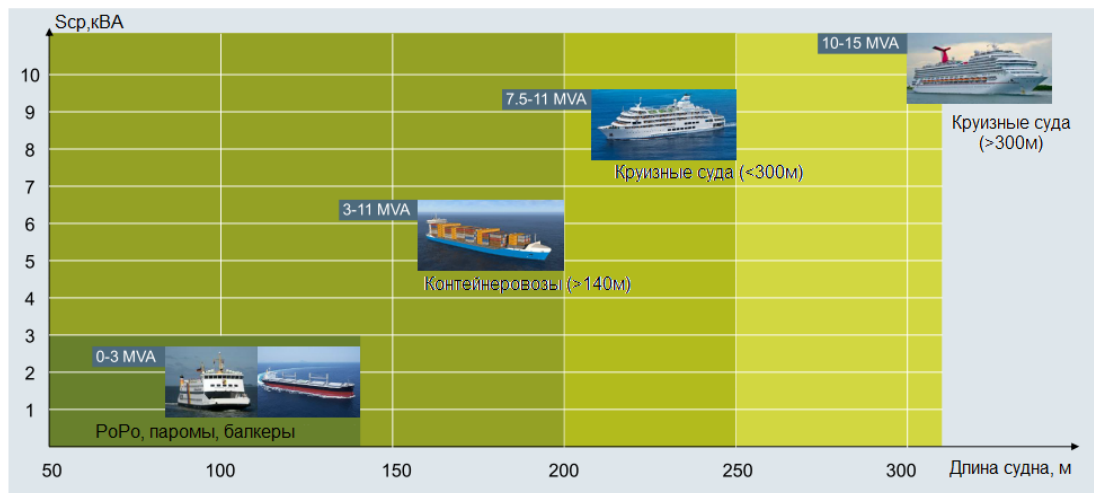


Рис. 3. Ориентировочная мощность, потребляемая судами различных типов от береговой сети

Во всем мире сейчас применяются уже зарекомендовавшие себя технологии для передачи электроэнергии. При этом особое внимание уделяется такому техническому вопросу, как безопасное управление кабельными системами. Для каждой береговой точки подключения портом или терминалом должен быть предоставлен выделенный трансформатор, служащий для двух целей: во-первых, он обеспечивает требуемую гальваническую развязку (неметаллическое прямое соединение между береговой сетью и системой судна) таким образом, чтобы замыкание на землю сети судна не представляло опасности для береговой сети и наоборот; во-вторых, трансформатор уменьшает напряжение с оптимизированного для распределения уровня (например, 20 кВ) до одного или двух уровней напряжения, принятых в качестве стандарта для соединения между берегом и судном: 11 или 6,6 кВ в зависимости от судна. Многие из современных судов с оборудованием для подключения к береговой сети были переоснащены, а не изначально построены с таким оборудованием.

Каждая береговая точка подключения к сети требует распределительное устройство среднего напряжения с автоматическим переключателем заземления. В сущности, распределительное устройство (РУ) прерывает подачу энергии, а переключатель гарантирует, что в кабелях между берегом и судном во время обслуживания и подсоединения не остается никакой энергии. Поскольку самый высокий риск, связанный с таким подключением к сети, – это травмы персонала, работающего с кабелями и системами, то наличие такого РУ является критически важным.

Статический преобразователь частот (ПЧ) необходим для большинства береговых точек. Большинство судов работает на частоте 60 Гц, тогда как частота местных сетей во многих странах мира составляет 50 Гц. При этом с их помощью обеспечивается экономичное решение подсоединения любого судна к сети с любой частотой. Кроме того, ПЧ улучшают общее качество электроэнергии береговой сети с помощью повышения коэффициента мощности и стабилизации напряжения и частоты. При отсутствии в береговой инфраструктуре ПЧ можно воспользоваться судовым (рис. 4).

Наконец, портовая инфраструктура для подачи электроэнергии с берега на судно должна включать систему автоматизации и связи, которая позволяет обслуживающему персоналу

координировать подключение кабелей и синхронизировать электрическую нагрузку судна с подачей питания с берега. Это стало возможным с помощью двух выносных терминалов (RTU), один из которых находится на борту судна, а второй – на берегу. Терминалы оснащены Ethernet-связью через оптоволоконный кабель.

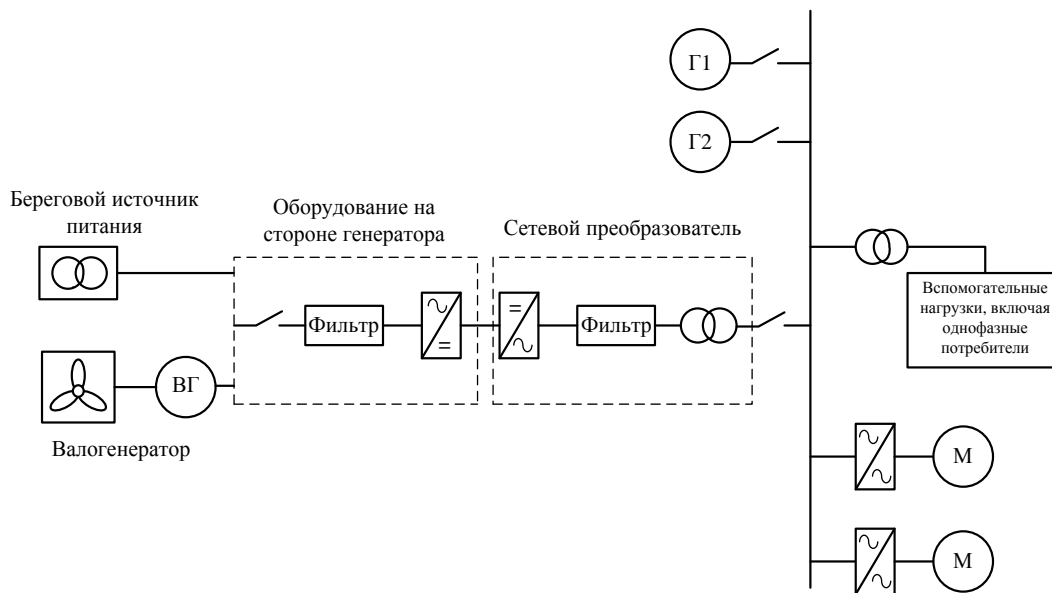


Рис. 4. Стандартизованные конфигурации для применения берегового источника питания и валогенератора

Передача электроэнергии может осуществляться двумя способами: традиционным с кабельным подключением (рис. 5) и беспроводной индукционной зарядкой (рис. 6). В районах с нестабильным электроснабжением в порту также можно использовать береговую аккумуляторную батарею для зарядки судовых аккумуляторов.

Для большинства транспортных судов и судов для перевозки трейлеров кабель устанавливается на судне и спускается через бобину или барабан к причалу, где его подсоединяют к сети. Для электроснабжения круизных судов кабель всегда находится на берегу с небольшим встроенным гидравлическим рукавом для направления. Когда система управления кабельной системой расположена на берегу, электрическое подключение на судне осуществляется с помощью панели соединительной арматуры для приема энергии с берега. В большинстве случаев такая панель должна располагаться вблизи корпуса судна и в пределах удобной досягаемости для тяжелых кабелей на берегу.



Рис. 5. Традиционное кабельное подключение



Рис. 6. Технология с беспроводной индукционной зарядкой

Береговая соединительная панель должна содержать: автоматический выключатель, релейную защиту, присоединительное устройство (штепсель и кабель заземления), интерфейс управления с интегрированной судовой системой автоматизации или системой управления энергией, устройства контроля и учета переданной на борт судна электроэнергии.

Кроме того, при осуществлении электроснабжения судов от береговой сети необходимо применять и унифицированные решения для присоединения соединительных кабелей к береговой сети (рис. 7).

Следует отметить, что поскольку потребности в электроэнергии и мощность судов сильно отличаются, то соблюдение единого стандарта оказалось невыполнимо. В результате были разработаны четыре отдельных, но взаимосвязанных стандарта для трейлерных судов, контейнеровозов, круизных лайнеров и танкеров. Еще существуют два основных стандартных напряжения для подсоединения питания – 11 кВ и 6,6 кВ [5].

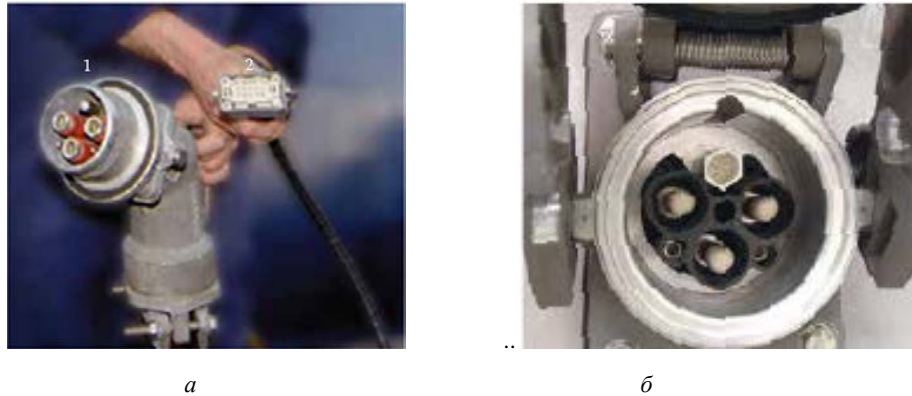


Рис. 7. Штекерные соединения для присоединения силовой нагрузки и питания цепей управления, автоматики и связи, выполненные в соответствии со стандартами IEC/ISO/IEEE 80005 и МЭК 62613-2:
 а – вилка (1 – для подключения силового кабеля; 2 – для подключения цепей автоматики и связи);
 б – розетка для подключения силового кабеля

Кроме проблем сугубо технического характера, такой подход поможет решить не только экологические проблемы, но и проблемы эксплуатационные. На рис. 8 приведены экономические показатели применения питания судов от береговой сети.

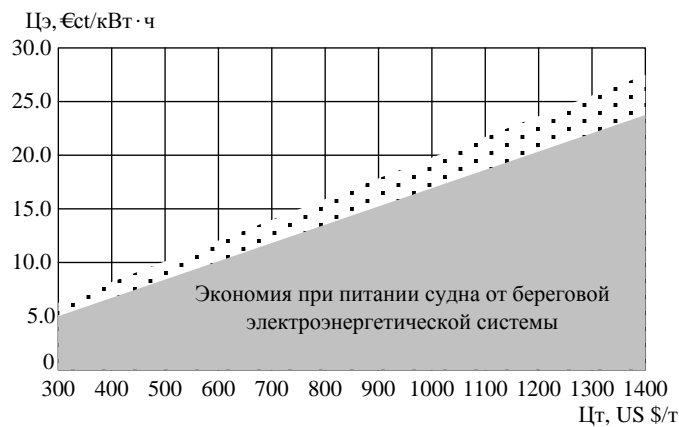


Рис. 8. Зависимость экономии при питании судна от береговой электроэнергетической системы

Подводя итог, можно сделать следующие выводы:

1. Портовые власти должны создавать или регулировать свою инфраструктуру для обеспечения питания от береговой сети большинства типов судов с целью увеличения грузооборота при строгом соблюдении экологических норм и норм безопасности.
2. Введение единого стандарта повлечет за собой увеличение инвестиционных затрат не только с портовых властей, а и со стороны судовладельцев, но при этом экономия денежных средств при питании судов от береговой сети позволит экономить до 5 €/кВт·ч.

Литература

1. МАРПОЛ. Книга III, пересмотренное Приложение VI к МАРПОЛ «Правила предотвращения загрязнения воздушной среды с судов», Издание ЗАО «ЦНИИМФ». – 2012. [Электронный ресурс]. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/499014496> (дата обращения: 30.03.2020).

2. Guidelines on survey and certification of the energy efficiency design index (eedi), as amended (resolution мсрс.254 (67), as amended by resolution мсрс.261 (68)) [Электронный ресурс]. – URL: https://wwwold.prs.pl/files/parent225/p103p_en.pdf (дата обращения: 20.07.2020).
3. Киотский протокол к Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата. Принят 11.12.1997. – Киото, Япония: ООН, 1998. Reference – see page 95.
4. РД 31.21.81-79. Инструкция по электроснабжению судов от береговых сетей. Разработана ЦНИИМФ. – Л.: 1979. – 10 с.
5. Shore connection power supply system for ships: SIHARBOR [Электронный ресурс]. – URL: [siemens.com/siharbor](https://www.siemens.com/siharbor) (дата обращения: 30.06.2020).

УДК 621.431.74

К.Д. Тимохин, А.А. Марченко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: marchenko_alx@inbox.ru*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ СУДОВОГО МАЛОБОРОТНОГО ДИЗЕЛЯ

В условиях устаревания флота актуальной становится проблема продления максимального срока эксплуатации судовых дизелей. Это приводит к постоянному увеличению отказов судового оборудования. Существующие системы диагностирования технического состояния судового оборудования не позволяют решить данную проблему. Авторами данной статьи предложен способ компьютерной диагностики судовых дизелей. Для этого были рассмотрены и актуализированы существующие неисправности и разработаны методы их своевременной диагностики.

Ключевые слова: судовой дизель, диагностика, неисправности, турбонаддув.

K.D. Timohin, A.A. Marchenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: marchenko_alx@inbox.ru*

DEVELOPMENT OF METHODS FOR FUNCTIONAL DIAGNOSTICS OF A MARINE LOW-SPEED DIESEL

In the conditions of fleet obsolescence, the problem of extending the maximum service life of marine diesel engines becomes urgent. This leads to a constant increase in ship equipment failures. Existing systems for diagnosing the technical condition of ship equipment do not solve this problem. The author of this article offers a method for computer diagnostics of marine diesel engines. For this purpose, existing malfunctions were reviewed and updated and methods for their timely diagnosis were developed.

Key words: marine diesel, diagnostics, malfunctions, turbocharging.

На сегодняшний день ввиду морального и физического устаревания морского флота проблема своевременного диагностирования технического состояния судовых дизелей становится актуальной. Средний возраст судов по дальневосточному региону составляет не менее 25 лет, что является крайне низким показателем в мире.

Подавляющая масса судовых устройств имеет высокую наработку и требует полной замены или увеличения срока эксплуатации. Увеличение срока эксплуатации на сегодня привело к тому, что большинство судовых дизелей подвергалось ремонту, причем необходимо отметить, что ремонт этот проводился не заводом-изготовителем, а на частных судоремонтных предприятиях. После проведения ремонта часто установленные сроки безаварийной работы не соответствуют действительности. В условиях промысла выход из строя основного оборудования может привести к остановке промысла, что может крайне негативно сказаться на экономических показателях рейса. Финансовые потери ввиду простоя на промысле могут оказаться в итоге многократно больше, чем затраты на ремонт.

Все это делает применение систем диагностирования необходимым требованием на судах морского флота.

Система технического диагностирования позволяет постоянно определять техническое состояние систем и показывать рекомендации о дальнейшем безаварийном использовании оборудования. Таким образом, в случае приближения объекта к аварийному состоянию становится возможным своевременное принятие решения о его выводе из эксплуатации или о переводе

системы в частично разгруженное состояние со своевременным принятием необходимых мер, позволяющих избежать аварийной ситуации.

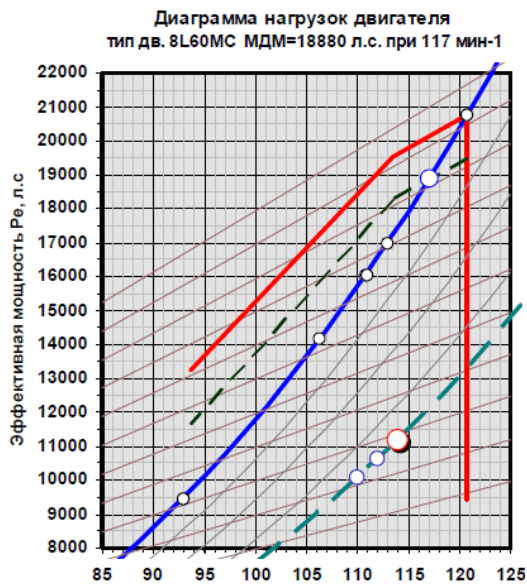


Рис. 1. Частота вращения коленчатого вала

Разработка автоматизированной системы технического диагностирования состояния судового оборудования, способной осуществить своевременное обнаружение неисправности, является важной задачей (своевременное обнаружение неисправностей, локализация неисправностей основных узлов и агрегатов, а также прогнозирование ресурса состояния) [1].

Для определения точки режима нагружения двигателя необходимо в первую очередь произвести измерение скорости вращения коленчатого вала. Также необходимо определить значение среднего давления P_{mi} в каждом цилиндре и произвести регулировку индикаторного давления между различными цилиндрами двигателя.

Для учета межцикловой нестабильности при индицировании цилиндров необходимо производить обработку около десяти циклов, выполняемых последовательно. Далее нужно рассчитать индикаторную и эффективную мощности, затем по точкам составить диаграмму нагрузок двигателя (рис. 1).

Определение соответствия давления наддува P_{scav} и эффективной мощности двигателя P_e осуществляется с использованием эталонной кривой, приведенной ниже (рис. 2).

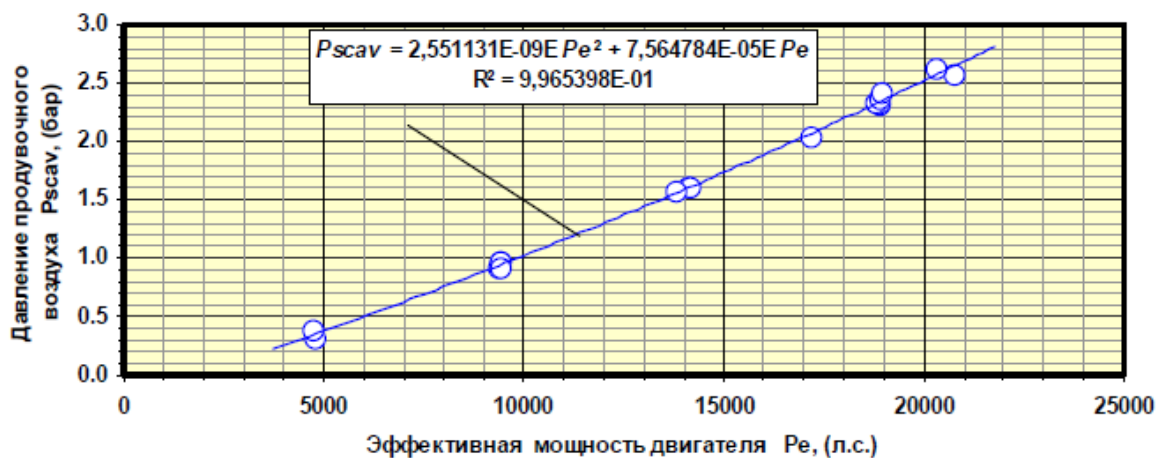


Рис. 2. Зависимость давления наддува и эффективной мощности двигателя

Опыт показывает, что зависимость между параметрами P_{scav} и P_e носит линейный (или очень близкий к линейному) характер в широком диапазоне режимов нагружения двигателя. Если проверка показывает, что измеренное в эксплуатации значение P_{scav} на 0,2–0,3 бара (и более) ниже эталонного значения параметра, то это свидетельствует о снижении эффективности системы воздухообеспечения двигателя (причины могут быть различными: снижение КПД компрессорной или турбинной ступени турбокомпрессора, снижение энергии выпускных газов подводимой к турбинной ступени ТК, загрязнение соплового аппарата турбокомпрессора, воздухофильтра или охладителя наддувочного воздуха, повышенное противодавление за турбиной).

Оценка соответствия давления конца процесса сжатия в цилиндрах P_{comp} и давления наддува P_{scav} осуществляется для диагностирования неплотности камеры сгорания двигателя. Взаимосвязь параметров P_{comp} и P_{scav} описывается линейной зависимостью (рис. 3).

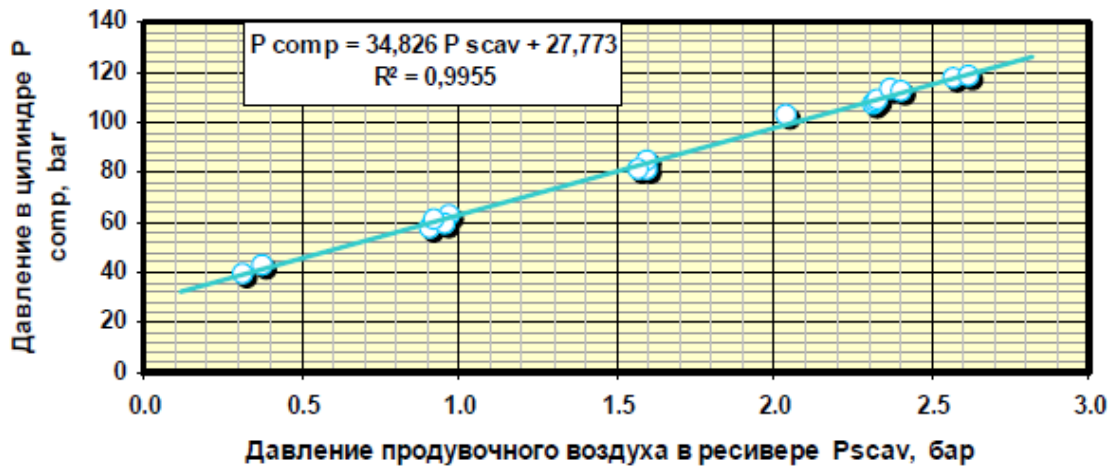


Рис. 3. Зависимость давления в цилиндре в конце такта сжатия от давления продувочного воздуха

При получении данных о P_{comp} (рис. 4), не соответствующих эталонным значениям, можно сделать выводы о неудовлетворительном состоянии поршневых колец. В данной ситуации необходимо провести внешний обзор колец через продувочные окна цилиндровой втулки. Также данная информация может свидетельствовать о прогорании шпинделя клапана.

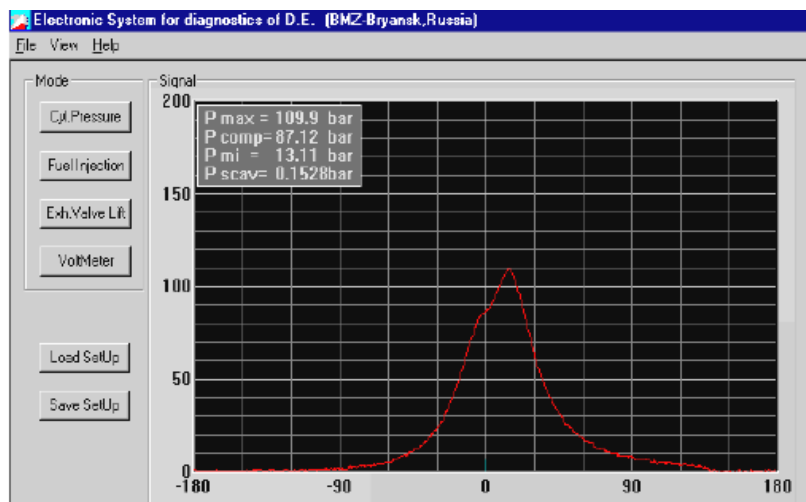


Рис. 4. Вид дисплея компьютера СТД, отображающего индикаторную диаграмму дизеля с представлением величин P_{max} , P_{comp} и P_{mi}

Кроме того, причиной отклонения от заданного значения может быть неплотность пускового клапана [2]. В данном случае необходима немедленная диагностика. Для этого достаточно произвести замер температуры патрубка подвода пускового воздуха к крышке цилиндра. В таком случае будет зафиксировано сильное увеличение температуры.

Также нарушения взаимосвязи P_{comp} и P_{scav} могут быть связаны с нарушением фазы закрытия выпускного клапана. В свою очередь, это может привести к изменению сжатия заряда в цилиндре. Поэтому необходимо до проведения диагностики судового дизеля контролировать натяжение главной приводной цепи. Для исключения рассмотренной неисправности необходимо осуществлять контроль правильности установки газовыпускных кулачных шайб на распределительном валу двигателя.

Определение соответствия максимального давления сгорания P_{max} эффективной мощности двигателя P_e осуществляется регулированием P_{max} таким образом, чтобы оно соответствовало эталонному значению, полученному в ходе стендовых испытаний на заводе-изготовителе дизеля. Желательно на неработающем двигателе заранее выполнить проверку правильности установки топливных кулачных шайб. Регулировка уровня P_{max} осуществляется изменением опережения подачи топлива (в зависимости от конструкции насоса регулировка выполняется установкой или выемкой регулировочных прокладок топливного насоса, либо регулированием системы).

Заметное снижение уровня P_{\max} при нормальных значениях P_{comp} и угла опережения подачи топлива свидетельствует об износах плунжерной пары насоса и/или о неплотности всасывающего клапана, установленного в крышке топливного насоса. В этом случае требуется повторно осуществить при помощи СТД контроль процесса впрыска топлива в цилиндр.

Оценка эффективности системы турбонаддува осуществляется на основе оценок адиабатического КПД компрессорной ступени.

Результаты оценки эффективности турбокомпрессоров приведены на графике (рис. 5).

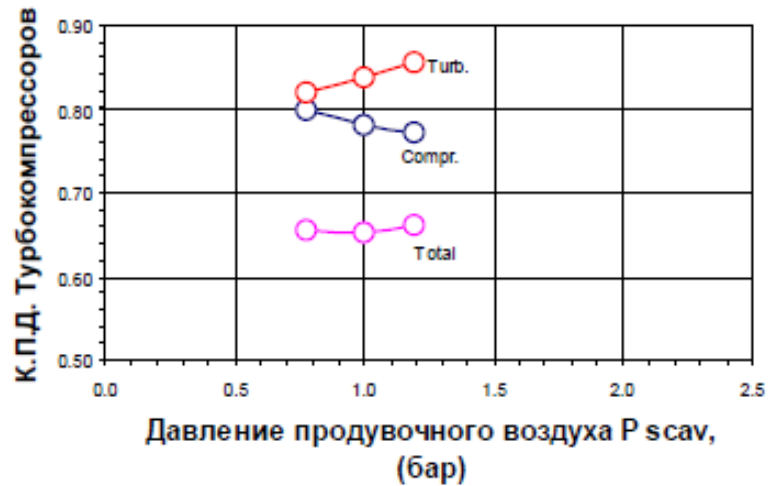


Рис. 5. Оценка эффективности турбокомпрессоров

К системам турбонаддува достаточно высокой эффективности можно отнести те системы, у которых на эксплуатационных режимах $\text{КПД}_{\text{comp}} = 0,80\text{--}0,83$.

Оценка эффективности воздухоохладителей осуществляется на основе параметра, представляющего разность $dt = t_{scav} - t_{sea\ water}$, где t_{scav} – температура продувочного воздуха в ресивере, $t_{sea\ water}$ – температура охлаждающей воды на входе в охладитель (рис. 6).

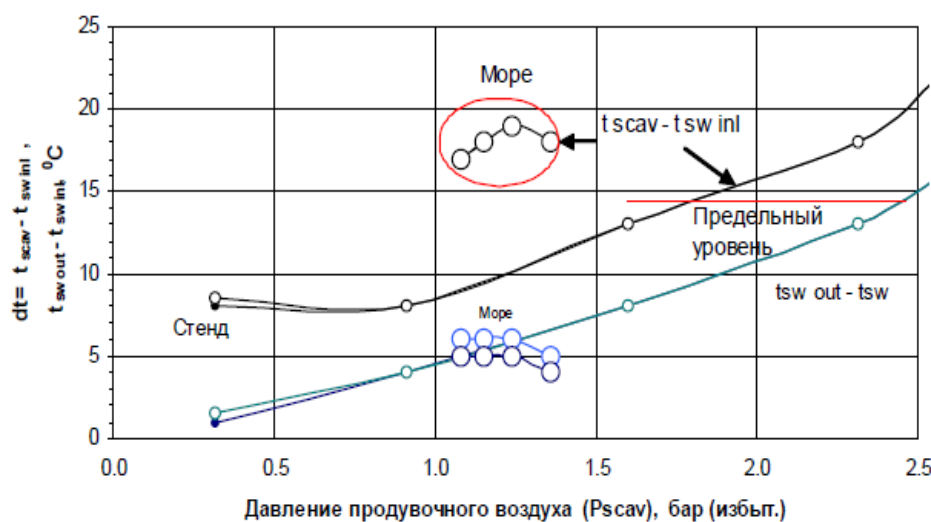


Рис. 6. Оценка эффективности воздухоохладителей

Для нового (чистого) охладителя, как показывают стендовые испытания двигателей, данная разность температур, как правило, не превышает $12\text{--}15^\circ\text{C}$.

Результаты диагностирования охладителей воздуха в эксплуатации показали, что они находятся в плохом техническом состоянии. Как видно из рис. 6, на долевых нагрузочных режимах ($P_{scav} = 1, 11, 4$ бар) величина dt достигала уровня $17\text{--}19^\circ\text{C}$. На режимах, близких к номинальной мощности двигателя, следует ожидать, что величина dt приблизится к 25°C , что значительно превышает предельно допустимый уровень.

Как показала в последующем ревизия охладителей, они действительно были в очень плохом состоянии (массовое выпадение пластин, практически полное отсутствие фиксации оставшихся пластин на охлаждаемых водой трубках).

После проведения исследований можно сделать следующие выводы. Проведение диагностики судовых дизелей на судах является необходимой мерой снижения количества аварийных случаев и соответствующих случаев простоя судна. Разработка новых методов технического диагностирования судового оборудования является актуальной, так как существующие методы не охватывают весь спектр задач, ставящихся перед системами технического диагностирования.

Сравнительный анализ нескольких методов диагностирования позволил оценить их эффективность и сформулировать требования к уменьшению отказов оборудования на судах. Проведенные исследования позволили отделить каждый рассмотренный метод в отдельные подсистемы с целью их дальнейшего применения в той или иной области, а также позволили выявить преимущества и недостатки различных методов. Приведение рассмотренных диагностируемых параметров в единую систему позволит уменьшить затраты на плановые, а также внеплановые ремонты судовых дизелей в будущем.

Литература

1. *Труднев С.Ю.* Разработка компьютерной модели параллельной работы генераторного агрегата и трехфазного безынерционного источника питания // Вестник государственного университета морского и речного флота имени адмирала С.О. Макарова. – 2015. – Т. 30. – № 2. – С. 191–197.
2. *Труднев С.Ю.* Компьютерное моделирование полупроводниковых преобразователей // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2020. – № 52. – С. 18–26.

УДК 004.056.5:004.01

Н.О. Ушаков, И.В. Сибикина, И.М. Космачева

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, 414056
e-mail: ushniol@yandex.ru, isibikina@bk.ru, i.kosmacheva@astu.org*

ИНФОРМАЦИОННАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

В статье рассматриваются вопросы защиты информации в системах электронного документооборота. Рассмотрены основные угрозы СЭД, а также средства защиты от угроз. В статье приводится сравнение реализации функций защиты информации в системах электронного документооборота. Для анализа были взяты программные продукты Docsvision, Логика ЕСМ. СЭД, «ДЕЛО», «Е1 Евфрат», Companymedia.

Ключевые слова: система электронного документооборота, электронная подпись, информационная безопасность.

N.O. Ushakov, I.V. Sibikina, I.M. Kosmacheva

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, 414056
e-mail: ushniol@yandex.ru, isibikina@bk.ru, i.kosmacheva@astu.org*

INFORMATION SECURITY IN ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEMS

The article deals with the issues of information security in electronic document management systems. The main threats of EDMS, as well as means of protection against threats, are considered. The article compares the implementation of information security functions in electronic document management systems. Docsvision software products and ECM Logic, SED, DELO, EFRAT, Companymedia.were used for analysis.

Key words: electronic document management system, electronic signature, information security.

В настоящее время системы электронного документооборота (СЭД) становятся обязательным элементом ИТ-инфраструктуры любой организации. С их помощью коммерческие предприятия повышают эффективность своей деятельности, а в государственных учреждениях на базе систем электронного документооборота решаются задачи внутреннего управления, межведомственного взаимодействия и работы с обращениями граждан.

Система электронного документооборота – это система автоматизации работы с информационными документами на протяжении всего их жизненного цикла (создание, изменение, хранение, поиск, классификация и пр.), а также процессов взаимодействия между сотрудниками [1].

В СЭД обрабатывается большое количество информации конфиденциального характера, поэтому формирование защищенного документооборота становится актуальной задачей для любой компании. Необходимо обеспечивать защиту документов и обеспечивающих компонентов СЭД от преднамеренных и случайных угроз информационной безопасности.

Задачей данной работы является исследование программных продуктов Docsvision, Логика ЕСМ. СЭД, «ДЕЛО», «Е1 Евфрат», Companymedia на предмет реализации функций защиты информации.

Особенности защиты данных в СЭД. Среди угроз для систем электронного документооборота можно выделить следующие:

- *угроза целостности* – уничтожение или искажение информации, которое может быть как непреднамеренным, так и умышленным;
- *угроза конфиденциальности* – любое нарушение конфиденциальности, при котором информация становится известной лицам, не имеющим к ней доступ (кража, перехват информации);
- *угроза доступности* – угроза, нарушающая возможность получить своевременный и беспрепятственный доступ к информации пользователям, имеющим к ней права доступа;

– *угроза работоспособности системы* – угроза, реализация которой приводит к сбою в работе системы;

– *невозможность доказательства авторства* – угроза, выражающаяся в том, что если в документообороте не используется электронная подпись, то невозможно доказать, что именно данный пользователь создал данный документ, при этом невозможно сделать документооборот юридически значимым [2].

Обеспечение защиты данных именно от этих угроз является задачей, которую в той или иной мере должна выполнять система электронного документооборота. В любой СЭД необходимо реализовать механизмы защиты от основных угроз: контроль доступа и разграничение прав пользователей, обеспечение сохранности и подлинности документов, протоколирование действия пользователей.

В целях обеспечения сохранности документов и возможности их быстрого восстановления в системе должна быть реализована функция резервного копирования. СЭД, которые используют базы данных Microsoft SQL Server или Oracle и др., чаще всего выбирают средства резервного копирования от разработчика СУБД. Другие используют собственные подсистемы резервного копирования, разработанные непосредственно производителем СЭД.

Для защиты СЭД от угроз информационной безопасности необходимо обеспечить безопасный доступ к системе, то есть должны быть реализованы механизмы аутентификации пользователей и разграничение прав доступа. Классика удостоверения личности в информационных системах – пароль. Однако данный метод аутентификации небезопасен. Следующий метод – имущественный, когда для аутентификации могут быть использованы USB-ключи, смарт-карты и т. п. Максимально надежный для проведения идентификации и последующей аутентификации способ – биометрический. При использовании данного метода человек идентифицируется по своим биометрическим данным (голос, отпечаток пальца, сканирование сетчатки глаз). Однако в данном случае возрастает стоимость решения, к тому же технологии считывания этих показателей еще не настолько совершенны, чтобы избежать ошибок или отказов. Еще один важный аспект аутентификации – это его многофакторность. Идея многофакторной аутентификации заключается в том, чтобы взаимно компенсировать недостатки нескольких отдельных факторов. Возможно комбинирование различных методов: парольного, имущественного и биометрического. На практике чаще всего используется двухфакторная аутентификация, например, аутентификация при помощи пароля и отпечатка пальца.

Для разграничения прав доступа в СЭД обычно используется подсистема СЭД, созданная разработчиками, или используется подсистема безопасности, реализованная в СУБД, которая применяется в СЭД.

Конфиденциальность документов, обрабатываемых в СЭД, должна обеспечиваться криптографическими методами защиты информации. Благодаря им сохраняется конфиденциальность информации, даже в случае попадания посторонним лицам. Однако любой криптографический алгоритм обладает своим уровнем криптостойкости, поэтому нет таких шифров, которые нельзя взломать, это всего лишь вопрос времени и средств.

На сегодняшний день основным решением для обеспечения подлинности документа является электронная цифровая подпись (ЭЦП), принцип работы которой основан на шифровании с асимметричным ключом. Многие производители СЭД уже имеют встроенные в свои системы средства для ЭЦП. Это связано с выходом ФЗ-63 «Об электронной подписи», в котором электронная подпись наделена юридической силой наряду с собственноручной подписью. Следует отметить, что согласно законодательству Российской Федерации, свою систему электронной подписи может разрабатывать только компания, которая имеет на это соответствующую лицензию ФСБ [3].

Протоколирование действий пользователей в системах – один из важнейших аспектов в защите электронного документооборота. Так как все действия пользователей регистрируются, то при возникновении проблем можно найти виновника, а также пресечь попытку неправомерных действий.

В сфере СЭД на российском рынке используются такие программные продукты, как Docsvision, Логика ЕСМ. СЭД, «ДЕЛО», «Е1 Евфрат», Comranymedia.

Анализ защищенности СЭД. Платформа Docsvision является базисом для электронного документооборота и позволяет реализовать самые разнообразные решения в области автоматизации бизнес-процессов и задач обработки документов. Платформа состоит из клиентской

и серверной части. Конструкторы, модули, шлюзы к другим системам и готовые приложения Docsvision позволяют гибко настроить систему под решение конкретных бизнес-задач заказчика.

Защита информации в Docsvision реализована: мандатным управлением доступа, разграничением прав доступа на всех уровнях, настройкой передачи прав, протоколированием и регистрацией действий пользователя, применением шифрования. Реализована поддержка электронной подписи всех трех видов, предусмотренных российским законодательством (№ 63-ФЗ). Имеет сертификат ФСТЭК.

Интеграция Docsvision с решением SafeCopy компании «НИИ СОКБ» позволяет предотвратить распространение конфиденциальных документов, которые хранятся в Docsvision, и избежать несанкционированной передачи таких документов посторонним лицам. Данная интеграция позволяет решать следующие задачи: защита конфиденциальных документов и документов, составляющих коммерческую тайну, выявление злоумышленников в случае возникновения инцидента, централизованный контроль за распространением печатных и электронных копий конфиденциальных документов.

Пользователями СЭД Docsvision являются: РКЦ «Прогресс», ЗАО «Центр Финансовых Технологий», администрация Екатеринбурга, страховая компания «Райффайзен Лайф», автозавод «ГАЗ», Мосгоризбирком, Министерство экономического развития РФ, «Газпром добыча Краснодар».

Система «ДЕЛО», разработанная компанией «Электронные Офисные Системы», поддерживает работу с документами на всех этапах жизненного цикла. Система обеспечивает регистрацию, рассмотрение, выдачу поручений, работу с проектами резолюций, контроль исполнения поручений и мониторинг сроков исполнения, списание документов.

Защита информации в СЭД «ДЕЛО» реализована функциями ЭЦП и шифрования. Подписание электронной подписью и ее проверка в СЭД «ДЕЛО» реализуется через опции «ЭП и шифрование» и «Сервер удаленной проверки ЭП». Поддерживается работа с сертифицированными средствами криптографической защиты информации. Шифрование сообщений, передаваемых по открытым каналам, позволяет защитить конфиденциальную информацию от несанкционированного доступа.

Задача обеспечения безопасности данных решена с помощью Secret Disk Server NG компании Aladdin – системы защиты корпоративных баз и конфиденциальной информации на серверах от несанкционированного доступа, копирования, повреждения, кражи или неправомерного изъятия. Для авторизации пользователей в системе «ДЕЛО» используется программно-аппаратный комплекс «Мастер паролей». Логины и пароли хранятся на специальной смарт-карте, доступ к которой можно закрыть PIN-кодом.

СЭД «ДЕЛО» включена в Реестр отечественного ПО. СЭД «ДЕЛО» используется как в государственных организациях, так и в коммерческих компаниях. На базе системы электронного документооборота «ДЕЛО» осуществляется предоставление государственных и муниципальных услуг в электронном виде на федеральном, региональном и муниципальном уровнях. Это обеспечивается интеграцией с «Единым порталом государственных и муниципальных услуг» (ФГИС ЕПГУ) и Системой межведомственного электронного взаимодействия (СМЭВ).

Пользователями СЭД «ДЕЛО» являются: Совет Федерации Федерального Собрания Российской Федерации, Государственная Дума Федерального Собрания Российской Федерации, Арбитражные суды, Генеральная прокуратура Российской Федерации, Центральный банк Российской Федерации, ГФС России, Росархив, Минтруд России.

CompanyMedia – корпоративная система управления документами, задачами и личной продуктивностью. Выполняя функции делопроизводства, система также сфокусирована на работе руководителей и бизнес-специалистов. CompanyMedia имеет 4-уровневую структуру: уровень технологической платформы, уровень базовых сервисов, уровень прикладных модулей и уровень представления информации. СЭД CompanyMedia обеспечивают защиту информации и юридическую значимость электронных документов.

Задачи защиты информации решаются благодаря следующим возможностям CompanyMedia:

- эффективное разграничение прав доступа пользователей к данным и различным частям системы в зависимости от служебного положения;
- авторизованный доступ к ресурсам системы за счет надежной идентификации и аутентификации;

- регистрация событий безопасности, связанных с действиями пользователей и администраторов;
- применение сервиса Locker, позволяющего обеспечить целостность информации в системе за счет использования электронной подписи (ЭП), в том числе усиленной.

Имеет сертификат ФСТЭК.

Пользователями CompanyMedia являются: Банк ВТБ, ОАО «Россельхозбанк», ОАО «Газпромбанк», УРАЛСИБ, Корпорация «Комета», правительство Омской области, правительство Новосибирской области, правительство Севастополя, АО «НПП «ЗВЕЗДА».

«Е1 Евфрат» – система электронного документооборота, используется для автоматизации процессов делопроизводства, организации корпоративного документооборота, автоматизации типовых бизнес-процессов для компаний всех типов и размеров. СЭД «Е1 Евфрат» использует в качестве платформы собственную разработку компании – CognitiveNexus, основными СУБД – MS SQL Server, MySQL, Oracle, также возможна реализация проектов и на других СУБД. «Е1 Евфрат» разработан в соответствии требованиям стандарта ISO 9000.

«Е1 Евфрат» включает в себя модуль информационной безопасности, который соответствует требованиям в области защиты информации. Модуль реализует комплексную защиту данных как от внешнего, так и от внутреннего несанкционированного доступа и обеспечивает сохранность и целостность документов в случае технических сбоев и аварий. «Е1 Евфрат» поддерживает использование протокола SSL для шифрования, расширенную квалифицированную электронную подпись КриптоПро и других сертифицированных криптопровайдеров, доменную авторизацию. Реализован механизм разграничения прав доступа. Хранение и управление паролями осуществляется средствами ОС, пароли никогда не передаются по сети в открытом виде. В СЭД «Е1 Евфрат» ведутся отдельные списки пользователей, имеющих права на регистрацию, контроль за прохождением документов, создание шаблонов отчетов и журналов, доступ к любым документам на чтение и изменение, а также администрирование системы. Наличие сертификатов ФСТЭК и ФСБ.

Пользователями «Е1 Евфрат» являются: ОАО «РЖД Логистика», ЭКООФИС, Государственное учреждение «Московское объединение ветеринарии», администрация главы и правительства Чеченской Республики, г. Грозный; ОАО «Коммерческий банк КЫРГЫЗСТАН».

Система «Логика СЭД» предназначена для автоматизации управленческого документооборота и делопроизводства, а также управления бизнес-процессами в средних и крупных коммерческих и государственных предприятиях.

Система «Логика СЭД» включена в реестр отечественного ПО и использует для работы СУБД PostgresPro. Имеет сертификат ФСТЭК. В «Логике СЭД» встроена поддержка сертифицированных ФСБ России средств криптографической защиты информации.

В системе используются следующие механизмы защиты данных:

- электронная подпись;
- разграничение прав доступа пользователей;
- протоколирование действия пользователей;
- шифрование данных.

Для реализации функций криптографической защиты информации используется программный продукт «Логика ЕСМ. Штамп». Его преимуществами является: кроссплатформенность, кроссбраузерность, соответствие законодательства РФ, обеспечение юридической значимости электронных документов, конфиденциальность информации и контроля ее целостности.

Пользователями «Логика СЭД» являются: Федеральная налоговая служба РФ, Федеральная служба по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, Федеральное агентство по управлению особыми экономическими зонами, Федеральное агентство лесного хозяйства, Федеральное агентство водных ресурсов, Министерство природных ресурсов, Министерство юстиции РФ.

Результаты анализа возможностей защиты информации в исследуемых СЭД представлены в таблице:

- «+» – возможность реализована;
- «+/-» – возможность доступна в рамках ограниченной функциональности или требуется приобретение дополнительного ПО;
- «-» – возможность не реализована.

Информационная безопасность СЭД

Защита информации	ДЕЛО	Логика СЭД	Docsvision	E1 Евфрат	Companymedia
Поддержка различных способов аутентификации	+/-	+	+	+/-	+
Назначение прав пользователям	+	+	+	+	+
Назначение прав группам пользователей	+	+	+	+	+
Поддержка пользовательских ролей	+	+	+	+	+
Выдача прав на время исполнения документа	+	+/-	+/-	+	
Шифрование данных системы, шифрование данных при передаче	+	+	+	+	+
Средства мониторинга событий в системе	+/-	+	+	+	+
Использование ЭЦП	+	+	+	+	+/-
Применение сертифицированных средств защиты	+	+	+	+	+/-
Протоколирование действий пользователя	+	+	+	+	+
Организация резервного копирования базы данных	+	+	+	+	+

Автоматизация документационной поддержки процессов в организациях имеет несомненные преимущества. Спрос на системы электронного документооборота стабильно увеличивается. Однако нельзя забывать об обеспечении безопасности СЭД. Для нормальной работы электронного документооборота на предприятии необходим надежный и безопасный процесс обработки и хранения информации. Все рассмотренные СЭД входят в Единый реестр российского ПО и обладают набором средств, которые обеспечивают необходимую защиту информации. Это такие решения по защите конфиденциальной информации, как разграничение прав пользователя, контроль доступа, шифрование документов при хранении и передаче, ЭЦП.

Литература

1. Белов С.П. Подготовка к внедрению систем электронного документооборота: Монография. – М.: Мир науки, 2016. – 210 с.
2. Анацкая А.Г. Защита электронного документооборота: Учебное пособие. – Омск: СибАДИ, 2019. – 87 с.
3. Шишин И.О. Информационные технологии управления документами. – СПб.: Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2017. – 78 с.

УДК 004.056.5:004.01

В.М. Шарошкин, И.В. Сибикина, И.М. Космачева

*Астраханский государственный технический университет,
Астрахань, 414056*

e-mail: vlad_21999@mail.ru; isibikina@bk.ru; i.kosmacheva@astu.org

ВНЕДРЕНИЕ ТЕХНОЛОГИИ BLOCKCHAIN В СИСТЕМУ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

За последние несколько лет мы стали свидетелями активного и последовательного развития технологий ЭДО, поощряемых как предприятиями, так и контролирующими органами. Электронный документооборот (ЭДО) – это перевод документов в безбумажную форму, где электронный документ, подписанный цифровой подписью, имеет полную юридическую силу и не требует наличия оригинала в бумажном виде. Однако степень оцифровки документов в бизнес-сфере варьируется: в то время как одни компании применяют безбумажные технологии на всем жизненном цикле документов, другие только начинают думать об их внедрении. Существует большое количество предприятий, которые все еще используют программное обеспечение для работы только со сканированными копиями, не доверяя безопасности ЭДО. Технология blockchain может повысить безопасность и доверие к системам электронного документооборота, предлагая более надежный способ учета и хранения конфиденциальных документов. Задачами исследования являются: анализ технологии blockchain, рассмотрение перспектив использования технологии в системах ЭДО, разработка прототипа системы ЭДО на blockchain, тестирование ПО.

Ключевые слова: блокчейн, документооборот, информационная безопасность.

V.M. Sharoshkin, I.V. Sibikina, I.M. Kosmacheva

*Astrakhan State Technical University,
Astrakhan, 414056*

e-mail: vlad_21999@mail.ru; isibikina@bk.ru; i.kosmacheva@astu.org

IMPLEMENTATION OF BLOCKCHAIN TECHNOLOGY INTO THE ELECTRONIC DOCUMENT MANAGEMENT SYSTEM

Over the past few years, we have witnessed an active and consistent development of EDM technologies, encouraged by both enterprises and regulatory authorities. Electronic document management (EDM) is a converting of documents into a paperless format, where an electronic document signed with a digital signature has full legal force and does not require the original in paper form. However, the degree of document digitization in business varies: while some companies apply paperless technologies throughout the entire document lifecycle, others are just beginning to think about their implementation. There is a large number of enterprises that still use software to work only with scanned copies, not trusting the security of EDM. Blockchain technology can enhance the security and confidence in electronic document management systems by offering a more reliable way to record and store confidential documents. The objectives of the research are: analysis of blockchain technologies, consideration of the prospects for using technologies in EDM systems, development of a prototype of an EDM system for blockchain, software testing.

Key words: blockchain, workflow, information security.

Технология, лежащая в основе биткойнов и других виртуальных валют, блокчейн – это открытый распределенный реестр, с помощью которого можно безопасно проводить транзакции между двумя сторонами [1].

С помощью блокчейна можно создать глобальную систему, в которой документы представлены в цифровом виде и хранятся в прозрачных общих базах данных, где они защищены от удаления, подделки и изменения. В этой системе каждое соглашение, каждый процесс, каждая задача и каждый платеж будут иметь цифровую запись и подпись, которые можно идентифицировать, проверять, хранить и передавать. Посредники, такие как юристы, брокеры и банкиры,

могут больше не понадобиться. Люди и организации могли бы свободно взаимодействовать друг с другом без особых трудностей. В этом огромный потенциал блокчейна в сфере документооборота.

На самом базовом уровне блокчейн представляет собой цепочку блоков, но не в традиционном смысле этих слов. Когда мы говорим в этом контексте слова «блок» и «цепочка», мы говорим о цифровой информации («блок»), хранящейся в общедоступной базе данных («цепочка») [1].

«Блоки» в цепочке блоков состоят из цифровых данных, в частности, из трех частей:

1. Блоки хранят информацию о транзакциях, такую как дата, время и сам документ.
2. Блоки хранят информацию о том, кто участвует в транзакциях.
3. В блоках хранится информация, которая отличает их от других блоков. Каждый блок хранит уникальный код, называемый хешем, который позволяет нам отличать его от любого другого блока. Хеши – это криптографические коды, созданные с помощью специальных алгоритмов.

Когда в блоке хранятся новые данные, он добавляется в цепочку блоков. Блокчейн, как следует из названия, состоит из нескольких блоков, связанных вместе (рис. 1).

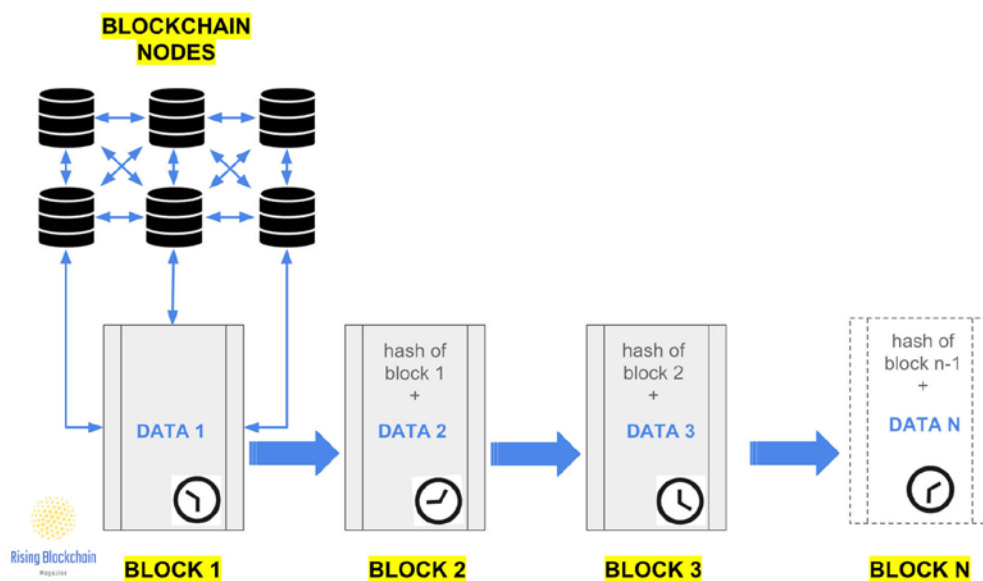


Рис. 1. Цепочка блоков

Однако для добавления блока в цепочку блоков должны произойти четыре вещи:

1. Вы должны инициировать транзакцию.
2. Эта транзакция должна быть подтверждена. В блокчейне эта работа возлагается на сеть компьютеров. Когда вы совершаете транзакцию, эта сеть компьютеров проверяет, произошла ли ваша транзакция так, как вы сказали. То есть они подтверждают детали, включая время транзакции, участников и т. д.

3. Эта транзакция должна храниться в блоке. После того, как ваша транзакция будет подтверждена как правильная, она получит «зеленый свет». Сумма транзакции в долларах, ваша цифровая подпись и цифровая подпись получателя хранятся в блоке. Там к транзакции, скорее всего, присоединятся сотни или тысячи других подобных.

4. Этому блоку необходимо присвоить хеш. После проверки всех транзакций блока ему должен быть присвоен уникальный идентификационный код, называемый хешем. Блоку также дается хеш самого последнего блока, добавленного в цепочку блоков. После хеширования блок может быть добавлен в цепочку блоков.

Когда этот новый блок добавляется в цепочку блоков, он становится общедоступным для просмотра всем – даже вам. Если вы посмотрите на блокчейн Биткойна, то увидите, что у вас есть доступ к данным транзакции, а также к информации о том, когда («Время»), где («Высота») и кем («Передано») был добавлен в блокчейн.

Технология блокчейн решает проблемы безопасности и доверия несколькими способами. Во-первых, новые блоки всегда хранятся линейно и в хронологическом порядке. То есть они всегда добавляются в конец цепочки блоков. Если вы посмотрите на блокчейн Биткойна, вы увидите, что каждый блок имеет позицию в цепочке, называемую «высотой» [1].

После того как блок был добавлен в конец цепочки блоков, очень сложно вернуться и изменить содержимое блока. Это потому, что каждый блок содержит свой собственный хеш вместе с хешем блока перед ним. Хеш-коды создаются математической функцией, которая превращает цифровую информацию в строку цифр и букв. Если эта информация каким-либо образом редактируется, изменяется и хеш-код [3].

Вот почему это важно для безопасности. Допустим, злоумышленник пытается отредактировать ваш договор о покупке в транзакции так, чтобы вам действительно пришлось платить за покупку дважды. Как только он отредактирует сумму вашей транзакции, хеш блока изменится. Следующий блок в цепочке по-прежнему будет содержать старый хеш, и злоумышленнику нужно будет обновить этот блок, чтобы замести следы. Однако это изменит хеш этого блока. И следующий, и так далее [1, 3].

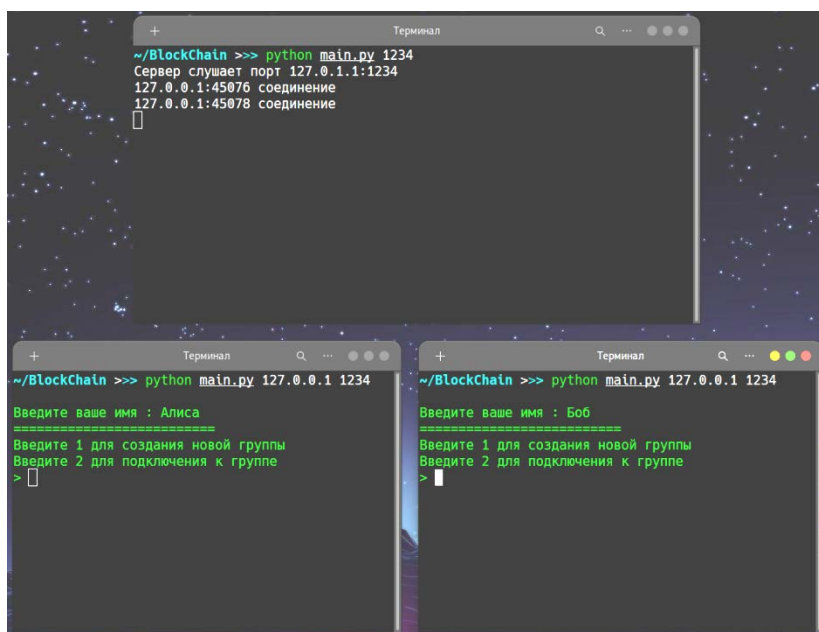
Таким образом, чтобы изменить отдельный блок, хакеру необходимо будет изменить каждый блок после него в цепочке блоков. Пересчет всех этих хешей потребует огромных и невероятных вычислительных мощностей. Другими словами, как только блок добавлен в цепочку блоков, его становится очень трудно редактировать и невозможно удалить.

Чтобы решить проблему доверия, сети блокчейнов внедрили тесты для компьютеров, которые хотят присоединиться и добавить блоки в цепочку. Тесты, называемые «моделями консенсуса», требуют от пользователей «доказать себя», прежде чем они смогут участвовать в сети блокчейн. Один из наиболее распространенных примеров, используемых Биткойном, называется «доказательство работы».

В системе доказательства работы компьютеры должны доказать, что они выполнили работу путем решения сложной вычислительной математической задачи. Если компьютер решает одну из этих проблем, он получает право добавить блок в цепочку блоков. Но процесс добавления блоков в цепочку блоков, который в мире криптовалют называют «майнингом», непрост. Фактически шансы решить одну из этих проблем в сети Биткойн составляли примерно один к 17,56 триллионам в августе 2020 г. Чтобы решать сложные математические задачи с такой вероятностью, компьютеры должны запускать программы, которые требуют значительных затрат энергии [1].

Доказательство работы не делает атаки невозможными, но делает их в некоторой степени бесполезными. Если хакер хотел скоординировать атаку на блокчейн, ему нужно было бы контролировать более 50% всей вычислительной мощности в блокчейне, чтобы иметь возможность подавить всех других участников сети. Учитывая огромный размер блокчейна Биткойн, так называемая атака 51% почти наверняка не стоит затраченных усилий и практически невозможна.

Для демонстрации работы блокчейна был разработан прототип системы ЭДО. Для запуска сервера выполняется команда «pythonmain.py <port>», для запуска клиента – «pythonmain.py <ip><port>» (рис. 2) [2].



```
~/BlockChain >>> python main.py 1234
Сервер слушает порт 127.0.1.1:1234
127.0.0.1:45076 соединение
127.0.0.1:45078 соединение
^

~/BlockChain >>> python main.py 127.0.0.1 1234
Введите ваше имя : Алиса
=====
Введите 1 для создания новой группы
Введите 2 для подключения к группе
>

~/BlockChain >>> python main.py 127.0.0.1 1234
Введите ваше имя : Боб
=====
Введите 1 для создания новой группы
Введите 2 для подключения к группе
>
```

Рис. 2. Запуск сервера и клиентов

Каждый участник вводит свое имя, после чего одним из клиентов создается группа, и секретная информация в виде ID и пароля передается другим участникам документооборота (рис. 3).

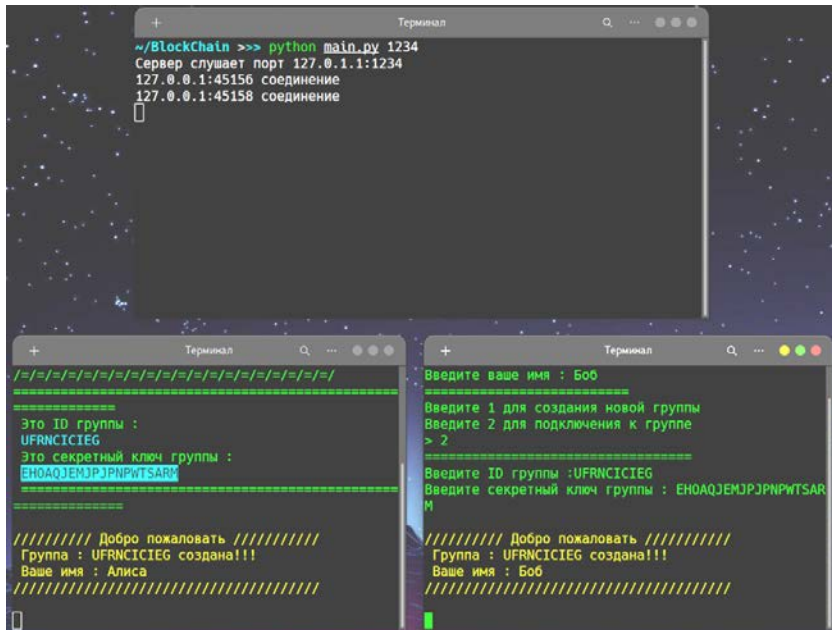


Рис. 3. Создание группы

Для отправки документа участникам группы вводится полный или относительный путь файла, хранящегося на компьютере (рис. 4).

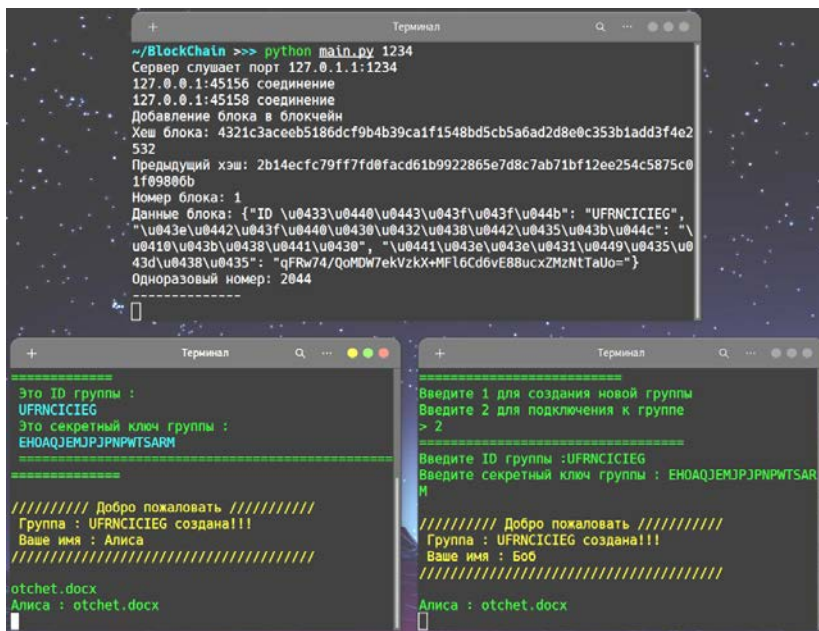


Рис. 4. Отправка документа «otchet.docx»

При отправке документа он сохраняется в блокчейн. Документу присваивается уникальный хеш и порядковый номер (рис. 5).

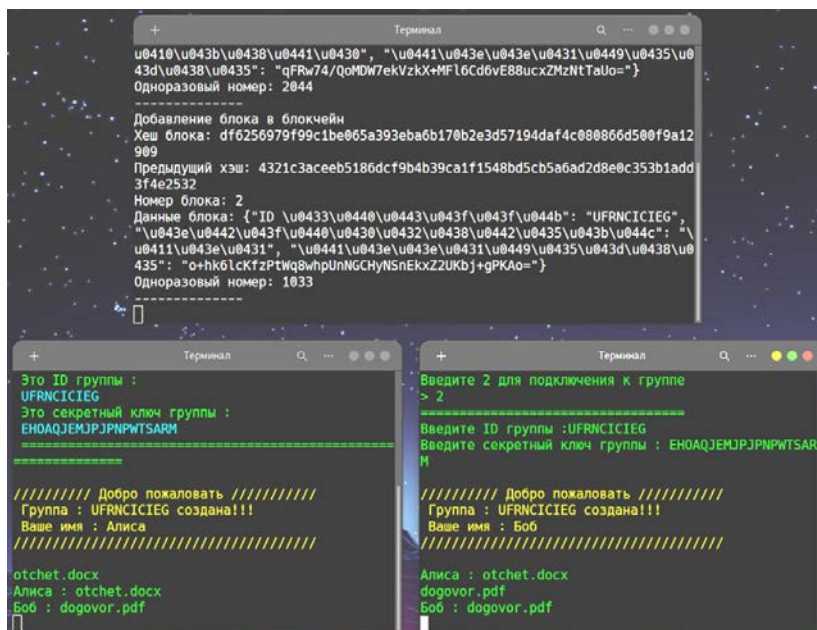


Рис. 5. Отправка документа «dogovor.pdf»

Таким образом, внедрение технологии blockchain в систему электронного документооборота призвано повысить безопасность обмена и хранения конфиденциальных документов.

Литература

1. Танскотт Д., Танскотт А. Технология блокчейн. – М.: Эксмо, 2018. – 448 с.
2. Лутц М. Изучаем Python. – СПб.: Издательский дом «Символ-Плюс», 2011. – 1280 с.
3. Панасенко С. Алгоритмы шифрования. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 577 с.

СЕКЦИЯ 3. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 621.74.07

А.А. Афошин

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,
Луганск, 91034
e-mail: 80508862369@mail.ru*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧНОСТИ ЛИТЕЙНОЙ ОСНАСТКИ ДЛЯ ВАКУУМНО-ПЛЕНОЧНОЙ ФОРМОВКИ ПО АДДИТИВНОМУ ПРОЦЕССУ ПОСЛОЙНОГО НАНЕСЕНИЯ ПОЛИМЕРНОЙ НИТИ

Приведены результаты экспериментальных исследований литейной оснастки, полученной процессом 3D-печати по технологии послойного нанесения полимерной нити. Проанализировано влияние технологических параметров на качество изготавливаемых литейных моделей. Проведено технологическое обоснование эффективности производства оснастки для условий серийного производства литья.

Ключевые слова: вакуумно-пленочная формовка, литейная оснастка, литейная модель, аддитивный процесс, 3D-печать, технология послойного нанесения полимерной нити, параметры режима печати, качество послойной модели.

A.A. Afoshin

*Lugansk State University named after Vladimir Dahl,
Lugansk, 91034
e-mail: 80508862369@mail.ru*

PROVISION OF TECHNOLOGY OF CASTING TOOLING FOR VACUUM-FILM FORMING BY ADDITIVE PROCESS OF LAYER APPLICATION OF POLYMER THREAD

The results of experimental studies of foundry equipment obtained by the 3D printing process using the technology of layer-by-layer application of polymer filament are presented. The influence of technological parameters on the quality of manufactured casting models is analyzed. The technological substantiation of the efficiency of production of tooling for the conditions of batch production of casting has been carried out.

Key words: vacuum-film forming, foundry equipment, foundry model, additive process, 3D printing, polymer filament layering technology, printing mode parameters, quality of layered model.

Одним из основных направлений технологического прогресса в машиностроении является отработка конструкций новых изделий на технологичность. Для самых сложных по конфигурации деталей после их обработки на технологичность в большинстве случаев наиболее тождественными оказываются литые заготовки [1].

Для производства литых заготовок необходима оснастка. В массовом производстве технологичность литейной оснастки отличается от технологичности серийного производства. В массовом производстве часто можно отступить от простоты технологического процесса и оснастки, поскольку даже при их высокой сложности разделение сложных операций, принятое в технике массового производства, обеспечивает требуемую точность конечного продукта при минимальной трудоемкости. Для серийного производства, тесно связанного с опытным, упрощение оснастки и технологического процесса обязательны.

На современном этапе развития литейного производства с точки зрения простоты использования оборудования и доступности материалов аддитивную технологию, известную как FDM, целесообразно применять для изготовления модельной оснастки по вакуумно-пленочному методу

формовки (ВПФ), где отсутствуют повышенные требования к качеству поверхности, прочности, чистоте поверхности, и будут обеспечены необходимые требования к изделию при низкой себестоимости [2].

Цель работы – разработка технологии 3D-печати литейной оснастки, удовлетворяющей условиям вакуумно-пленочной формовки и проведение технологического обоснования эффективности внедрения в серийное производство.

Конструкция литейной оснастки всегда будет технологичной, если совокупность ее конструктивных элементов выполнена в полном соответствии с техническими условиями ее работы в сборке изделия и дополнительно согласована с требованиями оптимальных серийных процессов ее формообразования [3].

Литейная модель и модельная оснастка для вакуумно-пленочной формовки изготавливается на обрабатывающих станках по технологическим режимам, включающим в себя удаление режущим инструментом поверхностного слоя заготовки (болванки). Заключительной операцией механической обработки литейной модели является сверловка сквозных вентиляционных цилиндрических каналов диаметром 0,2–0,3 мм в тех местах, где есть возможность их выполнения.

Общеизвестно, что к малым отверстиям принято относить круглые отверстия диаметром менее 0,5 мм, прямоугольные и фасонные отверстия площадью менее 1 мм² [1]. Подобные отверстия используются в литейной технологической оснастке, в частности для технологии вакуумно-пленочной формовки.

Существенное преимущество от внедрения аддитивных процессов в подготовку литейной оснастки для ВПФ заключается в 3D-печати готовой оснастки, практически не требующей доработок механическими операциями.

На данный момент в научной и технической литературе нет обоснованных рекомендаций по технологическим параметрам для режимов печати литейной оснастки по технологии послойного нанесения полимерной нити. В связи с этим возникает актуальная потребность в определении оптимальных технологических параметров для получения модельной оснастки по 3D-технологии с характеристиками, обеспечивающими требуемое качество.

Под требуемым качеством изготовления литейной оснастки понимаем соблюдение размеров, чистоту поверхности и отсутствие на ней дефектов в тех пределах, которые заданы в технических условиях на чертеже. Для производства литейной оснастки применялись:

- аддитивная технология послойного нанесения полимерной нити (известная как FDM-технология);
- механическая обработка на станке с ЧПУ.

После чертежи литейной оснастки для отливки «поводок» подвергались проработке в программах:

- для 3D-печати на 3D-принтере модели «TEVO Tarantula i3» – программа Simplify 3D, параметры печати задавались по следующему режиму: толщина укладываемого слоя нити принималась за $h_{сл} = 100$ мкм, скорость движения сопла экструдера (V_c) принималась за 70 мм/с, температура окружающей среды комнатная;
- для обработки на станке с ЧПУ модели CNC 1212 – программа ArtCAM 2018.

После напечатанную на 3D-принтере и обработанную на станке с ЧПУ литейную оснастку подвергали замерам. Линейные размеры замерялись штангенциркулем ШЦЦ-I-125-0,01 ГОСТ 166-89, радиальные – микрометром МК25-I ГОСТ 6507-90, шероховатость поверхности моделей контролировалась профилометром Н-141. Контроль размеров литейной оснастки показал полное соответствие заданным по чертежу размерам. Шероховатость поверхностей, полученных после 3D-печати и на станке с ЧПУ, удовлетворяет условиям вакуумно-пленочной формовки.

Сравнительный технологический анализ производства модельной оснастки на примере литейной модели для отливки типа «поводок», изготовленной двумя способами, – с применением станка с ЧПУ и аддитивным способом 3D-печати, представлен в таблице.

Основные параметры изготовления литейной оснастки по двум технологиям

№	Наименование критерия	Аддитивный способ изготовления	
		Обработка на станке с ЧПУ	
		Расход / ед. изм.	
1	Материал	Полиамид белый	Фанера ФК, сорт 2/2
		44 г	130 г
2	Машинное время работы станка	1 ч 20 мин	2 ч 14 мин
3	Качество обработки поверхности	Удовлетворяет условиям ВПФ	

Испытания литейной оснастки проходили в лабораторных условиях вакуумно-пленочной формовки. Литейная модель, напечатанная на 3D-принтере, не нуждаясь в обработке, беспрепятственно обтянулась синтетической пленкой, а уже после формовки также беспрепятственно извлекалась из формы. Литейной модели, изготовленной на станке с ЧПУ, потребовалась доработка – выполнение вентиляционных отверстий. Однако после их выполнения обтяжка синтетической пленкой и последующее извлечение литейной модели показали хорошие результаты.

В результате проведенных исследований сделаны выводы:

1. Проведен технологический анализ производства литейной оснастки для вакуумно-пленочной формовки, изготовленной аддитивным способом послойной укладки полимерной нити, в сравнении со способом механической обработки на станке с ЧПУ.

2. Установлено, что литейная модель, изготовленная аддитивным процессом, удовлетворяет всем техническим и эксплуатационным требованиям получения качественного литья, присутствующим способу вакуумно-пленочной формовки. Литейная модель, полученная механической обработкой на станке с ЧПУ, также показала хорошие эксплуатационные свойства, однако вызвала затруднения при выполнении сквозных вентиляционных каналов.

3. Внедрение аддитивного процесса позволяет сократить сроки изготовления литейных моделей, тем самым снизить себестоимость отливок и подготовку производства в целом.

4. Проведенные экспериментальные испытания напечатанных на 3D-принтере литейных моделей показали их технологическую целесообразность для дальнейшего внедрения в производство литья различной серийности.

Литература

1. *Амиров Ю.Д.* Технологичность конструкции изделия. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990. – 768 с.

2. *Сыровой Г.В., Афошин А.А.* Возможность использования аддитивных технологий для изготовления оправок // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении: Сб. науч. тр. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2019 – № 2 (27). – С. 47–54.

3. *Корбанов В.Д., Вальтер А.И.* Изготовление модельной оснастки в литейном производстве с применением аддитивных технологий // Известия ТулГУ. Технические науки. – 2018. – № 10. – С. 334–338.

Е.Л. Игнаткина, А.В. Костенко

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: sel_post@mail.ru*

АНАЛИЗ КРЕПЛЕНИЙ ПОДВЕСНОГО ПУТИ ШАХТНОЙ ПОДВЕСНОЙ МОНОРЕЛЬСОВОЙ ДОРОГИ

В работе проанализированы способы крепления монорельсового пути к крепи горной выработки. Приведены схемы крепей, способы и конструктивные особенности креплений. Показана схема сил, действующих при торможении подвижного состава на монорельсовый путь, и уравнения, позволяющие определять нагрузки, возникающие при торможении подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги.

Ключевые слова: монорельсовый путь, подвес, крепь, рельс, торможение, нагрузки.

E.L. Ignatkina, A.V. Kostenko

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003;
e-mail: sel_post@mail.ru*

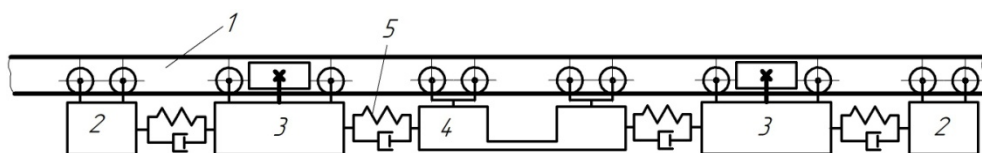
ANALYSIS OF THE FIXINGS OF THE MINESUSPENDED MONORAIL

The paper analyzes the methods of fixings a monorail track to the lining of a mine working. Schemes of linings, methods and design features of fixings are given. The diagram of the forces acting when braking a rolling stock on a monorail track is shown. Equations are given that make it possible to determine the loads arising from the braking of the rolling stock of a mine suspension monorail track.

Key words: monorail track, suspension, lining, rail, braking, loads.

Подвесной монорельсовый транспорт благодаря ряду преимуществ [1] является перспективным видом транспорта, который находит все большее распространение не только при подземной добыче угля, но и в других отраслях, в том числе в перевозке пассажиров, в перегрузочных терминалах и др.

Перемещение транспорта в условиях подземной шахтной добычи угля происходит по монорельсовому пути (рис. 1), который представляет собой двутавровую балку 1, закрепленную (подвешенную) к кровле выработки. При этом тяговые 2, тормозные 3 и ходовые 4 тележки передвигаются по нижним полкам двутавра. На рис. 1 показана одна ходовая тележка, составы могут содержать и большее количество таких тележек. Приводится в движение состав локомотивами специальной конструкции путем передачи вращающего момента на приводные колеса тяговых тележек, реализующими тяговые усилия при контакте с балкой монорельсового пути. Торможение осуществляется специальными тормозными тележками, которые приводят в действие тормозные колодки, прижимающиеся к балке и реализующими в результате этого тормозные усилия. Транспортируемый груз закрепляется на ходовых тележках.



*Рис. 1. Схема шахтной подвесной монорельсовой дороги:
1 – балка монорельсового пути (двутавр); 2 – тормозная тележка; 3 – тяговая тележка;
4 – ходовая тележка; 5 – цепное устройство*

Одним из важнейших факторов, определяющих надежность и безопасность эксплуатации шахтных подвесных монорельсовых дорог (ШПМД), является крепление монорельсового пути в горной выработке.

При этом крепление должно обеспечить, среди прочего, и восприятие нагрузок, возникающих при эксплуатации ШПМД, в том числе и при торможении, в процессе которого возникают переходные процессы, приводящие к дополнительным динамическим нагрузкам, воздействующим на монорельсовый путь и крепь горных выработок [2].

Цель статьи – анализ существующих конструкций креплений монорельсового пути и определение способа учета усилий, возникающих при торможении.

Монорельсовый путь состоит из двутавровых балок разной длины, являющихся ходовыми рельсами; поворотных сегментов; соединительных рельс; вилочных стрелок для изменения направления движения; захватов на анкерную крепь; подвесов на металлокрепь; распорных замков и рельсовых упоров.

Монорельсовый путь может использоваться по разветвленным горизонтальным и наклонным выработкам, в связи с чем рельсы выполняются в разных конструктивных вариантах. Для поворота в горизонтальной плоскости применяются поворотные сегменты. Ходовые рельсы (рис. 2, а) изготавливаются длиной 1–3 м в зависимости от условий применения. Для соединения криволинейных участков пути монорельса с прямолинейными участками, а также для соединения с вилочной стрелкой, применяются соединительные монорельсы (рис. 2, б).

С одной стороны к соединительному монорельсу приварены элементы крепления поворотного монорельса – фланец и петля для болтового соединения, с другой стороны приварены элементы крепления ходового монорельса – проушина 1, замок 2 или ключ 3. Кроме того, торец с проушиной 1 и элементом крепления – замком 2 или ключом 3 выполнен со скосом в вертикальной плоскости с углом $3,5^\circ$ для шарнирно-подвижного соединения с ходовыми монорельсами. Для поворота монорельсового пути в горизонтальной плоскости применяются поворотные монорельсы на 15° , $7,5^\circ$ и $5,5^\circ$ (рис. 2, в) [3].

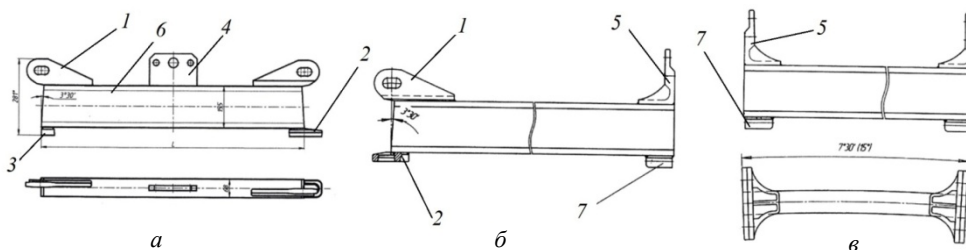


Рис. 2. Сегменты монорельсового пути: а – ходовой; б – соединительный; в – поворотный; 1 – проушина; 2 – замок; 3 – ключ; 4, 5 – фланцы; 6 – балка; 7 – петля

В подземных условиях крепление балки монорельсового пути зависит от типа крепи горной выработки, которая может быть анкерной и арочной. На рис. 3 показаны типы крепи и их элементы.

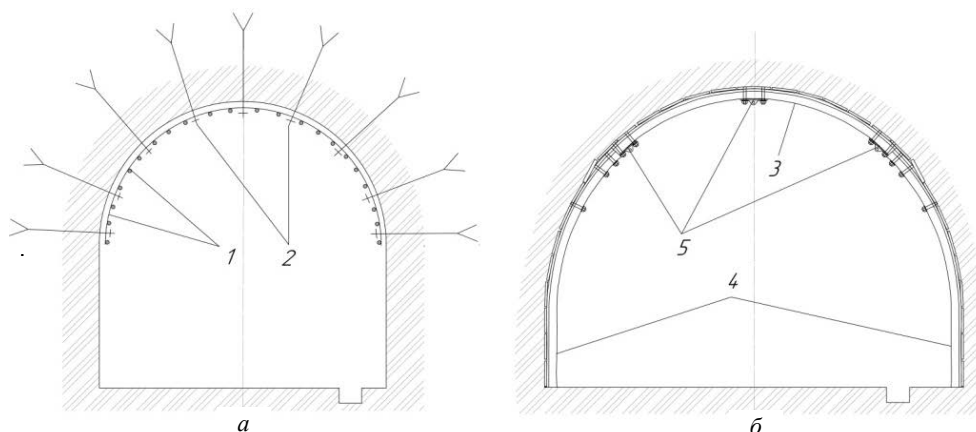


Рис. 3. Виды крепи горных выработок: а – анкерная; б – арочная; 1 – стальная сетка; 2 – анкер; 3 – верхняк; 4 – стойка; 5 – опорный башмак

Анкерный тип крепи используют в выработках, которые испытывают начальные проявления горного давления, а также в капитальных выработках до монтажа постоянной крепи. Для перетяжки кровли и боков выработок используют различные затяжки (железобетонные, металлические сварные решетчатые, деревянные кругляки и др.). Различают анкерные крепи с точечным закреплением анкеров, со сплошным закреплением анкеров, с песчано-цементным закреплением и при помощи энергии взрыва. Арочные крепи находят применение в околоствольных дворах, квершлагах, уклонах, бремсбергах и в других выработках, которые могут располагаться как вне зоны, так и в зоне влияния очистных работ. Они могут изменять свой размер и при этом не деформироваться. Этот тип крепи используется в арочных по форме туннелях шахт или локальных их частей. Представляет собой арочные скобы, изготовленные из стали с замковым механизмом.

На рис. 4 представлена схема монорельсового пути в горной выработке с арочной крепью [4].

На рис. 5 приведены схемы подвешивания балки монорельсового пути на анкерную крепь (рис. 5, а) и арочную крепь (рис. 5, б). Подвешивание монорельсового пути осуществляется с помощью элементов подвеса и захвата на металлокрепь или захвата на анкерную крепь.

На рис. 6 показана схема подвешивания монорельсового пути на стыке секций монорельса. К верхним полкам балки приварены проушины для соединения с серьгой 4 при помощи пальца 5, шайбы и шплинта. К нижним полкам балки приварены парные элементы крепления – замок 2 и ключ 3.

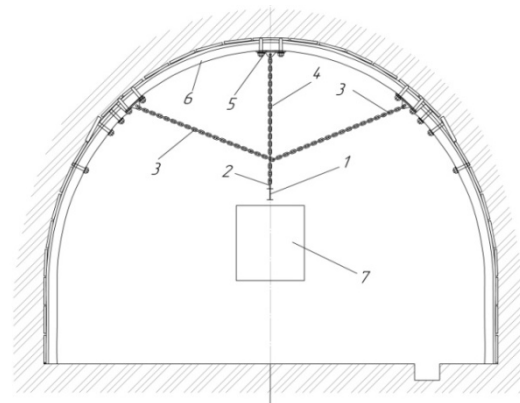


Рис. 4. Схема расположения монорельсового пути в горной выработке с арочной крепью:

- 1 – двутавровая балка;
2 – проушины и комплектное устройство;
3, 4 – наклонная и вертикальная цепь подвеса;
5 – арочный подвес пути; 6 – арочный профиль (верхняк);
7 – подвижной состав ШПМД

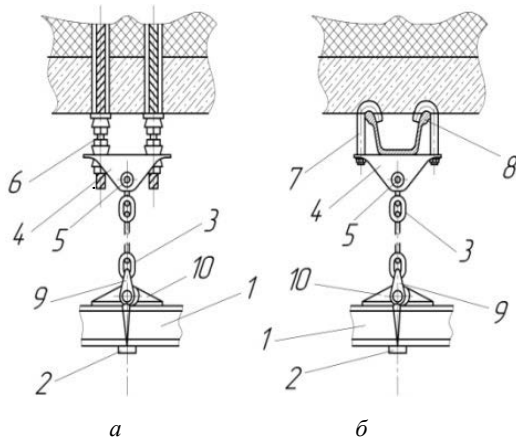


Рис. 5. Схема подвешивания монорельсового пути:
а – для анкерной крепи; б – для арочной крепи;
1 – монорельс; 2 – замок; 3 – цель; 4 – кронштейн;
5 – палец; 6 – анкер; 7 – крюк; 8 – профиль крепи;
9 – серьга; 10 – проушина

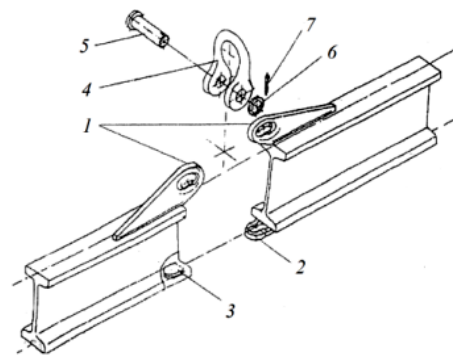


Рис. 6. Схема подвешивания монорельсового пути на стыке секций монорельса:

- 1 – проушины; 2 – замок; 3 – ключ; 4 – серьга;
5 – палец; 6 – шайба; 7 – шплинт

Во время торможения подвижного состава ШПМД возникают динамические нагрузки подвесного монорельсового пути и конструкции подвески. Схема сил, действующих при торможении подвижного состава на монорельсовый путь и его подвеску, представлена на рис. 7.

Во время движения и процесса торможения подвижного состава шахтной подвесной монорельсовой дороги возникают динамические нагрузки на крепь в точках крепления монорельсового пути, которые могут приводить к ее деформации и смещению вдоль горной выработки.

Для определения нагрузок, действующих на крепь в месте крепления монорельсового пути, предлагается использовать формулы:

$$N_1 = \sqrt{(C_1 x \cos^2 \alpha_1)^2 + (C_1 y \sin^2 \alpha_1)^2};$$

$$N_2 = \sqrt{(C_2 y \sin^2 \alpha_2)^2 + (C_2 x \cos^2 \alpha_2)^2};$$

$$N_3 = C_3 y,$$

где N_1, N_2, N_3 – нагрузки на крепь в местах монтажа подвески монорельсового пути к крепи горной выработки;

C_1, C_2, C_3 – жесткость цепей подвески соответственно;

α_1, α_2 – углы установки цепей подвески.

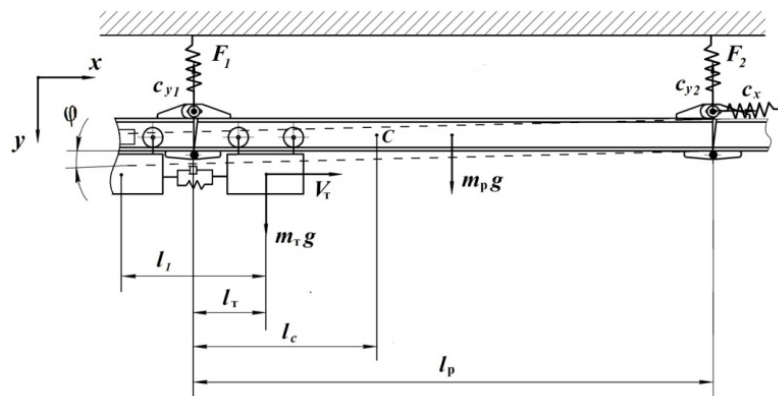


Рис. 7. Схема сил, действующих при торможении подвижного состава на монорельсовый путь

Представленные формулы позволяют определять нагрузку на крепь при торможении подвижного состава ШПМД, что будет использовано при дальнейших теоретических и экспериментальных исследованиях.

В статье проведен анализ креплений монорельсового пути ШПМД. Приведены уравнения, позволяющие выполнять теоретические исследования колебательных процессов, возникающих при торможении подвижного состава и оказывающих негативное влияние на безопасность эксплуатации ШПМД.

Литература

1. Гутаревич В.О. Динамика шахтных подвесных монорельсовых дорог: Монография. – Донецк: ЛАНДОН-XXI, 2014. – 205 с.
2. Гутаревич В.О., Игнаткина Е.Л. Поперечные колебания монорельса во время торможения подвесной монорельсовой дороги. Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы междунар. науч.-техн. конф. (23–25 октября 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский, 2020. – С. 180–183.
3. Мирошник А.И., Ногих В.Р., Черных Ю.А. Подвесной монорельсовый путь ПМП-155М: описание полезной модели к патенту RU 69 818 U1 [Электронный ресурс]. – URL: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=0000069818 &TypeFile=html (дата обращения: 23.11.2020).
4. Ширин Л.Н., Расцветаев В.А., Коваль А.И. Повышение эффективности работы монорельсовых дорог при подготовке запасов угля к очистной выемке: Монография. – Днепропетровск: НГУ, 2014. – 144 с.

УДК 697.9:6:629.5.048.3

В.А. Иодис, А.А. Алтухов, И.П. Сарайкина

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: iodisva@mail.ru*

ОБЗОР ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ СИСТЕМ КОМФОРТНОГО КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ВОЗДУХА НА СУДАХ

В данной работе представлен обзор централизованных систем комфортного кондиционирования воздуха, применяемых на судах. Для существующих систем кондиционирования был произведен технический и экономический анализ их характеристик с выбором оптимальной системы.

Ключевые слова: система кондиционирования воздуха, помещения судна, параметры воздуха.

V.A. Iodis, A.A. Altukhov, I.P. Saraykina

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: iodisva@mail.ru*

AN OVERVIEW OF CENTRAL COMFORT AIR CONDITIONING SYSTEMS ON SHIPS

This paper provides an overview of centralized comfort air conditioning systems using on ships. For existing air conditioning systems, a technical and economic analysis of their characteristics with the following choice of the optimal system was carried out.

Key words: air conditioning system, areas of the ship, air parameters.

Системы централизованного комфортного кондиционирования воздуха (СЦККВ) на судах предназначены для создания комфортных условий работы и проживания членов экипажа судна. При проектировании на основании технического и экономического анализа выбирается наиболее оптимальная для заданного типа судна СЦККВ. Система должна обеспечивать комфортные параметры среды в жилых и общественных помещениях судна при минимальных затратах на ее работу.

Сегодня распространение получили следующие централизованные системы комфортного кондиционирования – одноканальная без рециркуляции, одноканальная и двухканальная с рециркуляциями.

В одноканальной СЦККВ без рециркуляции (рис. 1) воздух проходит двуступенчатую обработку. Первая ступень обработки воздуха происходит в центральном кондиционере и включает его очистку, нагревание/охлаждение, увлажнение. Вторая ступень – очистка, нагревание/охлаждение и смешение воздуха, происходящее в кондиционере, расположенном непосредственно в кондиционируемом помещении. Работа одноканальной СЦККВ без рециркуляции осуществляется следующим образом. Наружный воздух через фильтр 1 всасывается в центральный кондиционер 2 центробежным вентилятором 3, далее проходит тепло-влажностную обработку в охлаждающем 4 или нагревающем 6 теплообменниках, в увлажнителе 5, в зависимости от времени года, и подается по воздуховодам 7 в кондиционеры 8, расположенные непосредственно в кондиционируемых судовых помещениях. Там проходит обработку смесь приточного воздуха центрального кондиционера и воздуха судового помещения. Для этого в нем установлен охлаждающе-нагревающий теплообменник 9, по трубкам которого течет холодная или горячая вода [1, 2].

В одноканальной СЦККВ с рециркуляцией, представленной на рис. 2, смесь наружного и рециркуляционного воздуха, образующаяся в камере смешения 2, обрабатывается полностью в центральном кондиционере 3, проходя последовательно все его элементы: фильтры 1 и 4, первый 5 и второй теплообменник нагревающий 6, центробежный вентилятор 7, воздухоохладитель 8, паровой увлажнитель 9. На рециркуляцию возвращается часть воздуха по воздуховодам 10. Обработанный воздух нагнетается вентилятором 7 в каюты по воздуховодам 11.

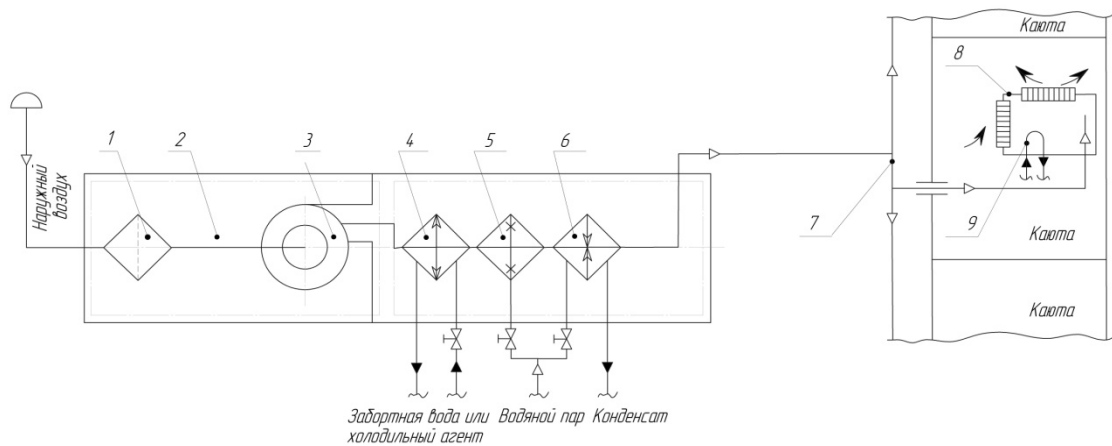


Рис. 1. Одноканальная СЦККВ без рециркуляции: 1 – фильтр; 2 – кондиционер центральный; 3 – вентилятор центробежный; 4 – теплообменник охлаждающий; 5 – увлажнитель; 6 – теплообменник нагревающий; 7 – воздуховоды; 8 – кондиционер, расположенный в кондиционируемом помещении; 9 – теплообменник охлаждающе-нагревающий

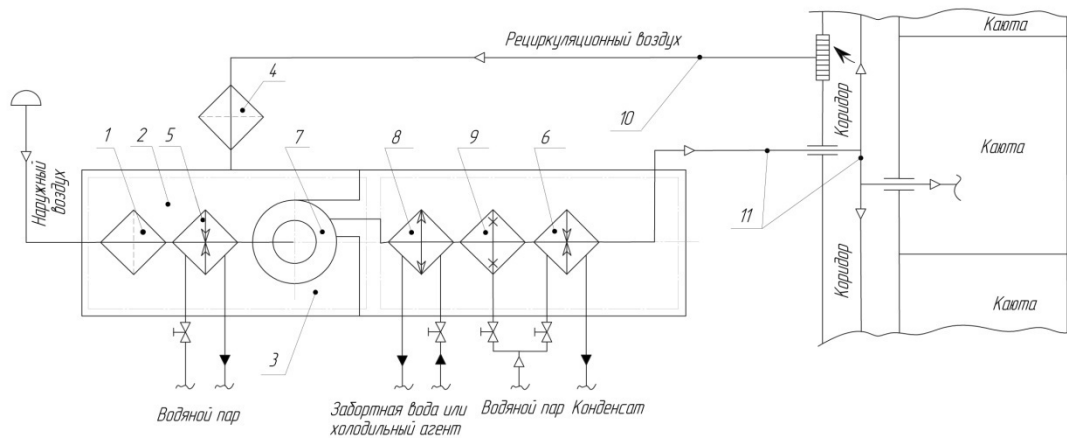


Рис. 2. Одноканальная СЦККВ с рециркуляцией: 1 – фильтр; 2 – камера смешения; 3 – кондиционер центральный; 4 – фильтр; 5, 6 – теплообменник нагревающий; 7 – вентилятор центробежный; 8 – теплообменник охлаждающий; 9 – увлажнитель; 10 – воздуховод рециркуляционного воздуха; 11 – воздуховоды

В двухканальной СЦККВ с рециркуляцией, представленной на рис. 3, воздух обрабатывается до различных параметров в первом и во втором каналах центрального кондиционера 3. По двум каналам воздух нагнетается в каюты. Смешение потоков воздуха из канала № 1 и 2 позволяет регулировать температуру, относительную влажность воздуха в каюте [2, 3].

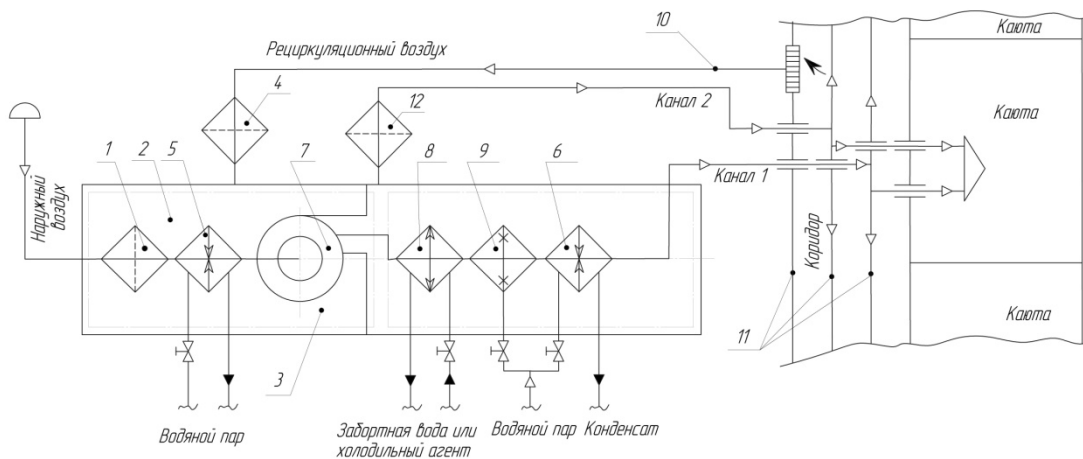


Рис. 3. Двухканальная СЦККВ с рециркуляцией: 1 – фильтр; 2 – камера смешения; 3 – кондиционер центральный; 4 – фильтр; 5, 6 – теплообменник нагревающий; 7 – вентилятор центробежный; 8 – теплообменник охлаждающий; 9 – увлажнитель; 10 – воздуховод рециркуляционного воздуха; 11 – воздуховоды; 12 – фильтр

Окончательно СЦККВ для помещений судна выбирается на основании данных технического и экономического анализа. Результаты анализа, рассмотренные выше СЦККВ, представлены в таблице.

Основные характеристики СЦККВ

Характеристика	Одноканальная без рециркуляции	Одноканальная с рециркуляцией	Двухканальная с рециркуляцией
Объемный расход воздуха: – наружного, м ³ /с – приточного, м ³ /с	3	1 2	1 2
Нагрузка на охлаждающий теплообменник, кВт	30	18	12
Нагрузка на нагревающий теплообменник, кВт	42	28	19
Расход пара с учетом увлажнения, кг/с	0,012	0,0085	0,0063

Технический и экономический анализ показал, что:

1. Достоинством одноканальной системы без рециркуляции (рис. 1) является простота устройства, небольшая протяженность воздухопроводов. К недостаткам можно отнести большие тепловые нагрузки на оборудование кондиционера, невозможность регулирования параметров воздуха в кондиционируемых помещениях [3].

2. К преимуществам одноканальных систем с рециркуляцией относятся меньшие в сравнении с одноканальными системами без рециркуляции тепловые нагрузки на охлаждающий теплообменник, нагревающий теплообменник, увлажнитель кондиционера (см. табл.), однако для данной системы также невозможно изменять температуру, относительную влажность индивидуально для каждого помещения.

3. Наиболее оптимальной СЦККВ является двухканальная система с рециркуляцией как менее энергозатратная и позволяющая в каждом кондиционируемом помещении создавать индивидуальные параметры микроклимата [4].

Литература

1. Судовые системы вентиляции и кондиционирования воздуха: справочное пособие по проектированию / А.А. Мундингер, В.П. Мокрецов, А.Д. Тарасов, Е.И. Шифрин. – Л.: Судостроение, 1974. – 301 с.
2. Селиверстов В.М. Расчеты судовых систем кондиционирования воздуха. – Л.: Судостроение, 1971. – 231 с.
3. Захаров Ю.В. Судовые установки кондиционирования воздуха и холодильных машин. – Л.: Судостроение, 1979. – 487 с.
4. Балькова Л.И., Иодис В.А., Скорыходов П.С. Анализ судовых систем кондиционирования воздуха для транспортного рефрижератора // Природные ресурсы, их современное состояние, охрана, промышленное и техническое использование: Материалы III Всерос. науч.-практ. конф. (20–22 марта 2012 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2012. – С. 26–29.

УДК 641:594.1

В.А. Иодис, А.В. Безруков, И.П. Сарайкина

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: iodisva@mail.ru*

**АЗОТНЫЙ ПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИЙ КОМПЛЕКС
ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ ДОБАВОК
ИЗ СТОРОК ДВУХСТВОРЧАТЫХ МОЛЛЮСКОВ**

В работе представлен проект азотного перерабатывающего комплекса для переработки створок двухстворчатых моллюсков и получения биологических добавок. Производство основано на быстром охлаждении створок мидии тихоокеанской жидким и газообразным азотом и их дальнейшем дроблении.

Ключевые слова: азотный перерабатывающий комплекс, мидия тихоокеанская, жидкий и газообразный азот, биологическая добавка.

V.A. Iodis, A.V. Bezrukov, I.P. Saraykina

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: iodisva@mail.ru*

**NITROGEN PROCESSING COMPLEX
FOR OBTAINING BIOLOGICAL ADDITIVES FROM
THE VALVES OF BIVALVE MOLLUSCS**

The paper presents a project of a nitrogen processing complex for processing the valves of bivalve molluscs and obtaining biological additives. The production is based on the quick cooling of the pacific mussel valves with liquid and gaseous nitrogen and their future crushing.

Key words: nitrogen processing complex, pacific mussel, liquid and gaseous nitrogen, biological additive.

Для нормальной жизнедеятельности человека необходимо постоянно обогащать его организм аминокислотами, минералами и витаминами, которые содержатся в биологических добавках (БД). В связи с этим сегодня одно из инновационных направлений – это их производство из объектов нерыбного промысла, например, мидии тихоокеанской (мидий). Однако в технологических способах производства БД применяют химически вредные, длительные и высокочрезвычайно затратные операции, такие как гидролиз соляной кислотой, сублимационная сушка, замораживание сырья погружными способами хладагентами [1–7].

Предлагается разработать проект азотного перерабатывающего комплекса для производства биологических добавок – получения БД из створок мидий.

Технологический процесс проектируемого азотного комплекса включает следующие технологические операции – очистку створок мидии, конвекционную сушку (не более 6–8% влаги), загрузку очищенных и высушенных раковин в лоток аппарата (рис. 1 и 2), охлаждение, дробление (первая и вторая стадии).

В аппарате производства БД из створок мидий происходит понижение температуры раковин до температуры минус 80–100°C путем распыления непосредственно на слой раковин жидкого азота; измельчение створок в шнековой дробилке до частиц диаметром 3–5 мм (I стадия измельчения); измельчение частиц, используя лопастный измельчитель до размера частиц 500 мкм (II стадия измельчения).

В связи с достаточной удаленностью мест культивирования мидии тихоокеанской (в большинстве случаев) от населенных пунктов возникает необходимость в разработке непрерывной технологической цепи переработки моллюсков, а именно азотного перерабатывающего комплекса для обработки створок мидий и доставки потребителю.

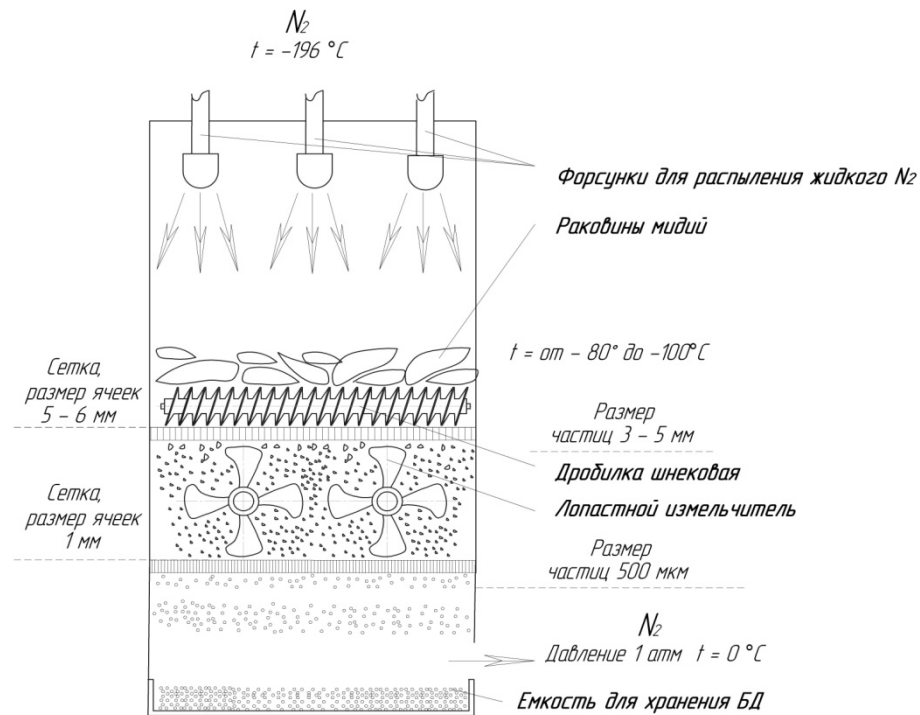


Рис. 1. Принципиальная схема аппарата производства БД из створок мидий

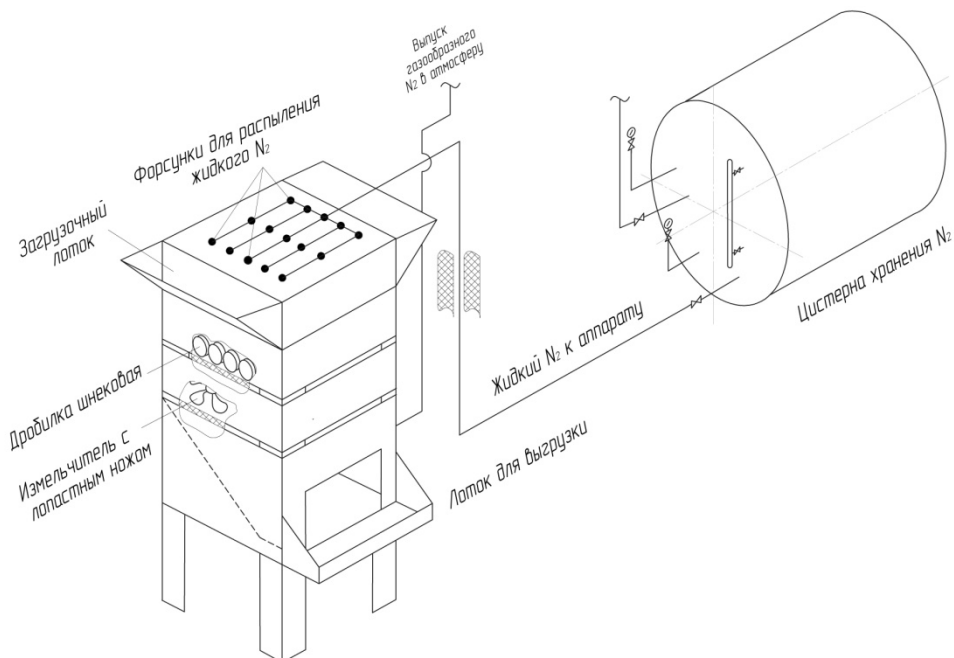


Рис. 2. Аксонометрическая схема получения БД из створок мидий с использованием холодильного потенциала жидкого и газообразного азота

Комплекс можно размещать в универсальных контейнерах на базе автоконтейнеровозов типа КАМАЗ, например, на базе шасси КАМАЗ-6522. Данные автоконтейнеровозы способны доставить комплекс к труднодоступным местам культивирования моллюсков, где предполагается его переработка.

К подготовительным операциям, осуществляемым в проектируемом комплексе, относятся сбор сырца моллюсков, чистка, варка, отделение раковин и биссуса. Содержимое раковин мидий проходит варку, охлаждение и мойку проточной водой, замораживание жидким и газообразным азотом [8–12].

Раковины после чистки, сушки, загрузки в лоток аппарата производства БД (рис. 2) быстро охлаждаются жидким и газообразным азотом, измельчаются в шнековой дробилке, а также в лопастном измельчителе.

Для обеспечения автономной работы комплекса предусмотрено использование автономных дизельных электростанций.

Таким образом, разработанный азотный перерабатывающий комплекс получения БД из створок мидий, позволяет:

- создать технологическую линию переработки мидии;
- начать переработку мидий в труднодоступных бухтах дальневосточного региона;
- снизить удельный расход жидкого азота на охлаждение 1 кг створок раковин моллюска.

Литература

1. Груздева А.Е., Потемкина Е.В., Гришатова Н.В. Способ получения биологически активной добавки к пище из растительного сырья (варианты): Патент РФ № 2176894. 2001.
2. Способ производства кормовой добавки из мидий / В.М. Ковбасенко, Ю.Б. Крук, А.Е. Пайдай, В.А. Семенец. Авторское свидетельство СССР № 935062. 1982. Бюл. № 22.
3. Алексанян Р.П. Способ приготовления корма для птиц: Авторское свидетельство СССР № 1561945. 1990. Бюл. № 17.
4. Груздева А.Е. Способ получения биокорректоров из натурального сырья: Патент РФ № 239929. 2010.
5. Ковбасенко В.М., Барабаиш В.С., Гуркало С.Я. Кормовая добавка для коров: Авторское свидетельство СССР № 1479050. 1991. Бюл. № 3.
6. Способ получения пищевой добавки из растительного сырья / А.Е. Груздева, Е.В. Потемкина, Н.В. Гришатова, А.Р. Крот. Патент РФ № 2110194. 1998.
7. Способ получения биологически активной добавки к пище из натурального сырья / А.Е. Груздева, Н.В. Гришатова, Е.В. Потемкина, Е.А. Тимофеева. Патент РФ № 2183413. 2002.
8. Иодис В.А., Балыкова Л.И., Жуков С.А. Передвижной азотный скороморозильный комплекс для производства варено-мороженой мидии на базе судна МРТК типа «Балтика» / Актуальные проблемы освоения биологических ресурсов Мирового океана: Материалы II Международ. науч.-практ. конф. (23 мая 2012 г.). – Владивосток: Дальневосточный гос. техн. рыбохозяйств. ун-т, 2012. – С. 197–201.
9. Иодис В.А., Балыкова Л.И. Мобильная холодильная цепь переработки двухстворчатых моллюсков // Вестник Камчатского государственного технического университета. – 2012. – № 21. – С. 10–14.
10. Иодис В.А. Передвижные азотные скороморозильные комплексы для переработки моллюсков // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы Международ. науч.-техн. конф. (17–19 октября 2018 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2019. – С. 77–81.
11. Ипаткин П.В., Иодис В.А. Получение биологически активных добавок из створок мидии тихоокеанской с использованием холодильного потенциала твердой углекислоты // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы II Международ. науч.-техн. конф. (23–25 октября 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2020. – С. 189–191.
12. Щербаков В.Н., Иодис В.А. Передвижные углекислотные комплексы для получения биологически активных добавок из створок мидии тихоокеанской // Техническая эксплуатация водного транспорта: проблемы и пути развития: Материалы II Международ. науч.-техн. конф. (23–25 октября 2019 г.). – Петропавловск-Камчатский: КамчатГТУ, 2020. – С. 210–213.

УДК 621.822:666.3-13

С.В. Куличков

*Дальневосточный федеральный университет,
Владивосток, остров Русский, п. Аякс, 690922
e-mail: seku230@yandex.ru*

ПРИМЕНЕНИЕ КЕРАМИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ УЗЛОВ ТРЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

В докладе рассмотрены исследования физико-механических характеристик некоторых отечественных керамических материалов подшипников. Показаны преимущества применения в узлах трения керамических материалов в сравнении со сталями.

Ключевые слова: керамические подшипники, узел трения, карбид кремния, техническая керамика.

S.V. Kulichkov

*Far Eastern Federal University,
Vladivostok, Russky Island, Ajax Bay, 690922
e-mail: seku230@yandex.ru*

APPLICATION OF CERAMIC MATERIALS TO IMPROVE THE RELIABILITY OF FRICTION UNITS OF TECHNOLOGICAL EQUIPMENT

The report examines the research of physical and mechanical characteristics of some domestic ceramic bearing materials. The advantages of using ceramic materials in friction units in comparison with steel are shown.

Key words: ceramic bearings, friction unit, silicon carbide, technical ceramics.

Создание и применение современных технологических машин сопряжено с широким спектром требований. Условия работы узлов технологического оборудования обусловлены, прежде всего, влажностно-температурными факторами и агрессивностью среды. Надежность работы узлов трения во многом зависит от перепадов температур, попадания в смазку механических примесей, коррозионных процессов на металлических элементах, сопровождающихся, в том числе, электрическими явлениями в трибосопряжениях.

Выбор материала деталей узлов трения машин обусловлен, с одной стороны, их стойкостью к воздействию среды, а с другой стороны – санитарно-гигиеническими требованиями.

Для ряда узлов технологического оборудования, например центробежных сепараторов, характерны высокие скорости вращения.

Для снижения негативного воздействия на узлы трения различных факторов среды хорошей перспективой является использование подшипников с керамическими элементами, которые по разным оценкам позволяют снизить шумность благодаря незначительному тепловому расширению, склонности к деформациям и существенно меньшему коэффициенту трения, обладают высокими диэлектрическими характеристиками, не испытывают воздействия магнитных полей. Благодаря химической инертности керамики применение керамических элементов деталей целесообразно при контакте с нефтепродуктами и пищевыми средами.

Для керамических подшипников [1, 2] характерно применение неоксидной керамики, в состав которой входят такие соединения, как нитрид кремния, карбид кремния. Химическая инертность карбида кремния предопределяет целесообразность его применения в подшипниках технологических машин пищевых производств [3, 4].

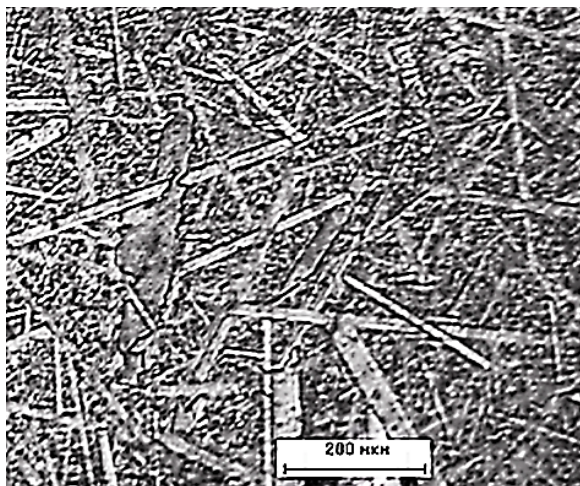
По совокупности свойств, соответствующих условиям применения в технологических машинах пищевой промышленности [5], целесообразно применение керамических подшипников на основе карбида кремния.

Физико-механические характеристики некоторых отечественных керамических материалов подшипников на основе SiC, выпускаемые различными отечественными производителями, представлены в таблице.

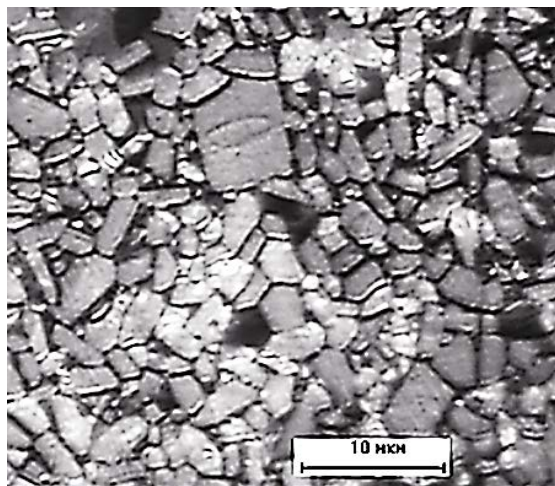
Физико-механические характеристики отечественных керамических материалов подшипников на основе SiC

Наименование показателя	SILCAR (ТУ 1592-003-75578248-2015)	ПКК (ТУ 1915-010-2304285-2003)	СКК (ТУ 1915-036-23042805-2010)	LPSiC (ТУ 1915-015-2304285-2009)
Плотность, г/см	3,0–3,14	3,05–3,11	3,12–3,17	3,21–3,25
Предел прочности при изгибе, МПа	220	330–450	350–450	500–550
Модуль упругости, ГПа	300–340	380–410	390–420	400–430
Коэффициент термического расширения в интервале 20–1000°С, 10 ⁻⁶ /К	3,6–4,2	3–4	4,0–4,5	5,0–5,5
Коэффициент теплопроводности при 100°С, Вт/м·К	160–174	140–180	90–130	70–90

Микрофотографии структуры материалов на основе SiC в составе подшипников, производимых ООО «Вириал», представлены на рисунке.



a



б

Керамические материалы подшипников компании ООО «Вириал»: а – СКК; б – LPSiC

Преимущества применения керамических материалов в узлах трения технологического оборудования обусловлено рядом качественных показателей.

Благодаря более высокой износостойкости керамических материалов по сравнению со сталями значительно повышается срок службы подшипников.

Коррозионная стойкость керамики позволяет применять керамические подшипники при контакте как с коррозионно-агрессивными, так и с пищевыми средами.

Термостойкость керамики расширяет возможности применения в более широком диапазоне температур.

Меньший коэффициент трения снижает энергозатраты и потери мощности в узле трения.

Керамики обладают меньшей плотностью, снижая тем самым динамические нагрузки на узлы трения.

Твердость керамик существенно превышает твердость сталей, что повышает износостойкость узла при попадании в смазку абразивных частиц. Твердость также обеспечивает сохранность изначальной формы поверхностей, что снижает уровень вибрации и, соответственно, шумового фона.

Литература

1. ГОСТ 32932-2014 (ISO 3290-2:2008) Подшипники качения. Шарики керамические. – М.: Стандартинформ, 2015.

2. Подшипники из карбида кремния [Электронный ресурс]. – URL: <http://www.ecarbid.ru/products/byhierarchy/3/59/>
3. F117-PW-100 hybrid ball bearing ceramic technology insertion / *J.R. Miner, J. Dell, A.T. Galbato, M.A. Ragen* // *J. Eng. Gas Turbines Power. Trans. ASME.* – 1996. – V. 118. – P. 434–442.
4. *Niizeki S., Abe T., Furumura K.* Reliability for rolling fatigue life and corrosion resistance of ceramic balls made of Si_2N_3 (in Japanese) // *NSK Technical Journal.* – 1992. – V. 652. – P. 17–21.
5. ГОСТ EN 1672-1-2014 Оборудование для пищевой промышленности. Требования по безопасности и гигиене. Основные положения. Часть 1. Требования по безопасности. – М.: Стандартиформ, 2015.

УДК 621.9.06-52

Д.А. Михайлов¹, А.П. Пичко², Н.С. Пичко², Е.А. Шейко¹, А.Н. Михайлов^{2, 3}

¹ Донецкая академия гражданской защиты,
Донецк, 283050;

² Усинский филиал УГТУ,
Усинск, Республика Коми, Россия, 169710;

³ Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001
e-mail: mntk21@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ МАРШРУТИЗАЦИИ ИЗДЕЛИЙ В РАЗВЕТВЛЯЮЩИХСЯ ПОТОЧНО-ПРОСТРАНСТВЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

В работе рассмотрены вопросы определения параметров маршрутизации изделий в разветвляющихся поточно-пространственных технологических системах. Приведены выражения по определению общего числа маршрутов движения изделий по позициям технологической системы. А также представлены данные по определению других параметров маршрутизации изделий, которые решаются на базе многомерной алгебры групп теории маршрутизации изделий.

Ключевые слова: технологические системы, поточно-пространственная структура, разветвляющиеся потоки, изделия, маршрутизация.

D.A. Mikhaylov¹, A.P. Pichko², N.S. Pichko², E.A. Sheiko¹, A.N. Mikhaylov^{2,3}

¹ Donetsk Academy of Civil Protection,
Donetsk, DPR, 283050;

² Usinsk branch of USTU,
Usinsk, Komi Republic, 169710;

³ Donetsk National Technical University,
Donetsk, DPR, 283001
e-mail: mntk21@mail.ru

FEATURES OF PRODUCT ROUTING IN BRANCHING FLOW-SPATIAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS

The paper considers the issues of determining the parameters of routing products in branching flow-spatial technological systems. Expressions are given for determining the total number of routes for the movement of products along the positions of the technological system. And also other data on the definition of other parameters of product routing are presented, which are solved on the basis of the multidimensional algebra of groups of the theory of product routing.

Key words: technological systems, flow-spatial structure, branching flows, products, routing.

Структура поточно-пространственной технологической системы (ППТС) [1–3] определяется множеством элементов (блоков технологического воздействия – БТВ), которые последовательны во времени. В связи с этим функционирование ППТС является сложным процессом. В свою очередь, функционирование таких элементов характеризуется стабильной способностью к заданным технологическим воздействиям (ТВ) на изделия. При этом ТВ создаются и реализуются по заданному алгоритму в соответствии со структурой ППТС.

На рис. 1 показана структура многомерной супергруппы, состоящая из подсистем и БТВ, которые и составляют ППТС непрерывного действия.

Подобная структура естественным образом предопределяет сложный процесс функционирования сложной системы, что порождает сложную структуру маршрутов движения изделий по позициям и подсистемам ППТС.

В связи с этим актуальной является задача определения и управления показателями качества функционирования ППТС.

Цель статьи – определение основных параметров маршрутизации изделий в ППТС с разветвляющимися потоками и многомерной структурой БТВ.

Для случая, когда ППТС имеет один входной и выходной поток изделий и ее структура описывается многомерной супергруппой, в работах [1–3] определены параметры маршрутизации изделий. При этом в [1] разработана многомерная алгебра группы, которая в отличие от обычной [4] позволяет определять параметры маршрутизации изделий, передвигающихся по многомерным супергруппам и являющихся при этом рекуррентными замкнутыми многомерными группами.

Супергруппа множества A_i БТВ v_i порядка, представленная на рис. 1, состоит из множества подсистем A_{ip} p -го класса и v_{ip} порядка. При этом каждая состоит из множества $(p - 1)$ классов более низкого порядка подсистем $A_{i(p-1)}$ $v_{i(p-1)}$ порядка, которые, в свою очередь, состоят из множества подсистем еще более низкого класса и т. д. Последние подсистемы состоят уже из элементов (БТВ). В связи с тем, что множество подсистем каждого класса в ППТС является рекуррентной замкнутой циклической группой, каждая из подсистем которой, в свою очередь, тоже является замкнутой рекуррентной циклической группой, то в супергруппе существует многомерность построения элементов.

Порядок подсистем такой супергруппы можно определить следующим множеством:

$$v_i = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ip}\},$$

где v_{ik} – порядок подсистемы k -го класса; p – число классов подсистем супергруппы.

На рис. 2 показаны типы отображений одномерных групп (A_i на A_{i+1}), которые могут быть следующими [5]: инъективными (рис. 2, а), биективными (рис. 2, б), суръективными (рис. 2, в).

Алгебра групп [4, 5] позволяет определить основные параметры отображений, показанных на рис. 2, для одномерных циклических рекуррентных групп.

Эти отображения для маршрутизации изделий в технологических системах непрерывного действия, выполненных, в том числе на базе роторных или роторно-конвейерных линий [6], можно представить следующими видами маршрутизации изделий: простая (рис. 2, а), неполная (рис. 2, б) и сложная (рис. 2, в).

Между каждым классом подсистем, соответственно, может действовать один из трех типов отображений. Количество этих отображений соответствует количеству классов подсистем супергруппы. Возможное число композиций отображений в супергруппе по классам подсистем можно определить по формуле:

$$S = 3^{p_i},$$

где p_i – число классов подсистем i -й супергруппы поточно-пространственного технологического модуля.

На многоименовательных и сборочных технологических системах часто встречаются случаи, когда ППТС определяется сложной структурой, имеющей супергруппы, и содержит некоторое количество входных или выходных потоков изделий.

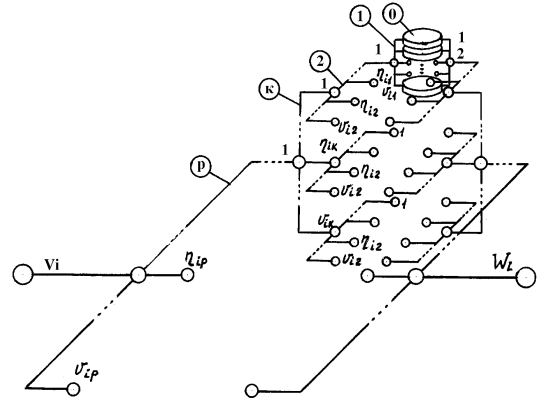


Рис. 1. Структура многомерной супергруппы

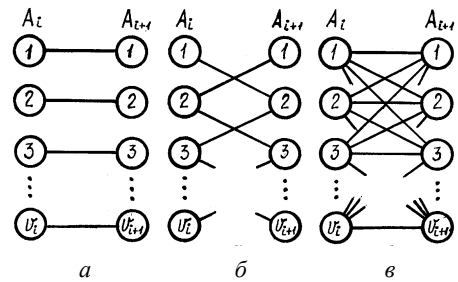


Рис. 2. Отображения множества A_i в A_{i+1} : а – инъективное, б – биективное, в – суръективное

Определение параметров маршрутизации изделий в таких системах, имеющих разветвляющиеся потоки изделий, является важной задачей, требующей решения для изучения таких систем и управления ими. Приведем решение этой задачи на основе многомерной алгебры групп.

На рис. 3 представлена гипотетическая модель ППТС с разветвляющимися потоками изделий.

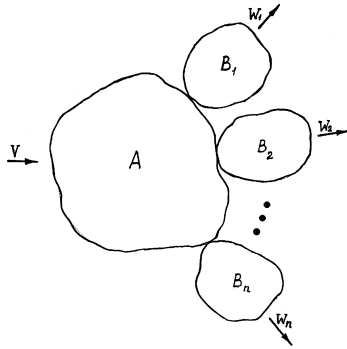


Рис. 3. Гипотетическая модель ППТС с несколькими входными или выходными потоками изделий:

V – вход изделий; $W = \{W_1, W_2, \dots, W_n\}$ – обобщенный выход изделий;

A – входной поточно-пространственный технологический модуль

(входная многомерная замкнутая рекуррентная супергруппа элементов (БТВ));

B_i – i -й выходной поточно-пространственный технологический модуль

(i -я выходная многомерная рекуррентная замкнутая супергруппа элементов (БТВ));

n – общее число выходных технологических модулей

Многомерная структура БТВ входного технологического модуля задается следующим множеством:

$$A = \{A_p, A_{p-1}, \dots, A_k, \dots, A_2, A_1\}; \quad (1)$$

$$\left. \begin{aligned} A_p &= \{A_{(p-1)1}, A_{(p-1)2}, \dots, A_{(p-1)u_p}\}; \\ A_{p-1} &= \{A_{(p-2)1}, A_{(p-2)2}, \dots, A_{(p-2)u_{(p-1)}}\}; \\ &\dots \\ A_k &= \{A_{(k-1)1}, A_{(k-1)2}, \dots, A_{(k-1)u_k}\}; \\ &\dots \\ A_2 &= \{A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1u_2}\}; \\ A_1 &= \{a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1u_1}\}, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где A_k – множество подсистем $(k - 1)$ -го класса в подсистеме k -го класса;

$A_{(k-1)\eta}$ – η -я подсистема $(k - 1)$ -го класса в подсистеме k -го класса;

u_k – порядок множества A_k ;

a_{1m} – m -й элемент множества A_1 .

Множество B имеет следующие подсистемы:

$$B = \{B_1, B_2, \dots, B_n\}; \quad (3)$$

$$B_i = \{B_{ip_i}, B_{i(p_i-1)}, \dots, B_{ik_i}, \dots, B_{i2}, B_{i1}\}; \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned} B_{ip_i} &= \{B_{i(p_i-1)1}, B_{i(p_i-1)2}, \dots, B_{i(p_i-1)v_{p_i}}\}; \\ B_{i(p_i-1)} &= \{B_{i(p_i-2)1}, B_{i(p_i-2)2}, \dots, B_{i(p_i-2)v_{(p_i-1)}}\}; \\ &\dots \\ B_{ik_i} &= \{B_{i(k_i-1)1}, B_{i(k_i-1)2}, \dots, B_{i(k_i-1)v_{k_i}}\}; \\ &\dots \\ B_{i2} &= \{B_{i11}, B_{i12}, \dots, B_{i1v_{k_i}}\}; \\ B_{i1} &= \{b_{i11}, b_{i12}, \dots, b_{i1v_i}\}, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где B_i – i -я подсистема множества B ;

n – число выходных технологических модулей;

$B_{i(k-1)\eta}$ – η -я подсистема $(k - 1)$ -го класса в подсистеме k -го класса множества i -го выходного технологического модуля;

v_{k_i} – порядок множества B_{ik_i} ;

b_{i1m} – m -й элемент множества B_{i1} ;

p_i – число классов подсистем множества B_i ;

В системах (2) и (5) общий порядок БТВ множеств A и B_i определяется следующим образом:

$$u = \prod_{k=1}^p u_k, \quad (6)$$

$$v_1 = \prod_{k_i=1}^p v_{k_i}. \quad (7)$$

Если один из поточно-пространственных технологических модулей ППТС имеет одномерную замкнутую структуру, то (1) и (4) имеют вид:

$$A = \{A_1\}, \\ B_i = \{B_{i1}\}.$$

Для решения поставленной задачи необходимо принять начальные условия.

1. ППТС содержит один входной технологический модуль (ТМ) и n выходных, их структура определяется множествами (1), (2) и (3), (4), (5) или (1), (2), (3), (4), (5) и частично (6), (7).

2. Элементы и подсистемы входного ТМ имеют следующую нумерацию:

- в подсистеме A_1 1-го класса позиции элементов $1, 2, \dots, \eta_1, \dots, u_1$;
- в подсистеме A_2 2-го класса позиции подсистем 1-го класса $1, 2, \dots, \eta_2, \dots, u_2; \dots$;
- в подсистеме A_k k -го класса позиции подсистем $(k-1)$ -го класса $1, 2, \dots, \eta_k, \dots, u_k; \dots$;
- в подсистеме A_p p -го класса позиции подсистем $(p-1)$ -го класса $1, 2, \dots, \eta_p, \dots, u_p$.

3. Выходные ТМ, обозначаемые множеством B , обозначены следующим образом: $2, \dots, i, \dots, n$.

4. Элементы и подсистемы i -го выходного ТМ имеют следующую нумерацию:

- в подсистеме B_{i1} 1-го класса позиции элементов $1, 2, \dots, \eta_1, \dots, v_1$;
- в подсистеме B_{i2} 2-го класса позиции подсистем 1-го класса $1, 2, \dots, \eta_2, \dots, v_2; \dots$;
- в подсистеме B_{iki} k_i -го класса позиции подсистем (k_i-1) -го класса $1, 2, \dots, \eta_{k_i}, \dots, v_{k_i}; \dots$;
- в подсистеме B_{ipi} p_i -го класса позиции подсистем (p_i-1) -го класса $1, 2, \dots, \eta_{p_i}, \dots, v_{p_i}$.

5. Первый маршрут происходит по первым позициям элементов и подсистем каждого класса.

6. Позиции и подсистемы каждого класса являются рекуррентными замкнутыми последовательностями.

7. Изделия с входного ТМ последовательно поочередно поступают в $1, 2, \dots, i, \dots, n$ выходные ТМ, циклы затем повторяются.

С целью определения параметров маршрутизации изделий в ППТС с разветвляющимися потоками изделий необходимо:

– определить общее число маршрутов движения изделий по позициям технологической системы;

– определить количество изделий, после прохождения которых в технологической системе завершается полный кинематический цикл движения ее элементов и подсистем – когда все позиции и подсистемы технологической системы возвращаются в исходное положение;

– определить номера позиций элементов и подсистем технологической системы, по которым проходит маршрут любого номера изделия;

– определить число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного ТМ, с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса i -го выходного ТМ системы.

Решение этих задач является основой определения параметров маршрутизации изделий в разветвляющихся поточно-пространственных технологических системах, без знаний которых не представляется возможным ведение управления показателями качества выпускаемых изделий.

Общее число маршрутов движения изделия по позициям ППТС с разветвляющимися потоками определяется с помощью следующих выражений:

$$N_1 = \sum_{i=1}^n \text{НОК} \left(G, \prod_{k_i=1}^{p_i} v_{k_i} \right); \\ G = \frac{\text{НОК} \left(\prod_{k=1}^p u, n \right)}{n}, \quad (8)$$

где N_1 – общее число различных маршрутов движения изделий по позициям технологической системы;

НОК – наименьшее общее кратное двух чисел.

При этом количество изделий, после прохождения которых завершается полный кинематический цикл движений ее элементов и подсистем, определяется по следующей форме:

$$N_2 = n \text{ НОК} \left[G, \text{НОК} \left(\prod_{k_1=1}^{p_1} v_{k_1}, \prod_{k_2=1}^{p_2} v_{k_2}, \dots, \prod_{k_n=1}^{p_n} v_{k_n} \right) \right] \quad (9)$$

В формуле (9) величина G вычисляется на основании выражения (8).

Номера позиций элементов и подсистем технологической системы, по которым проходит маршрут S_i любого изделия, определяется на основании следующих систем уравнений:

– для входного ТМ:

$$\left. \begin{aligned} S_i &= m_p u_p + r_p; \\ m_p + \frac{r_p}{\xi_p} &= m_{(p-1)} u_{(p-1)} + r_{(p-1)}; \\ m_{p-1} + \frac{r_{p-1}}{\xi_{p-1}} &= m_{(p-2)} u_{(p-2)} + r_{(p-2)}; \\ &\dots\dots\dots \\ m_2 + \frac{r_2}{\xi_2} &= m_1 u_1 + r_1; \end{aligned} \right\} \quad (10)$$

– для i -го выходного ТМ:

$$\left. \begin{aligned} S_i &= m_n n + i; \\ m_n + \frac{i}{\xi} &= m_{p_i} v_{p_i} + r_{p_i}; \\ m_{p_i} + \frac{r_{p_i}}{\xi_{p_i}} &= m_{(p_i-1)} v_{(p_i-1)} + r_{(p_i-1)}; \\ &\dots\dots\dots \\ m_2 + \frac{r_2}{\xi_2} &= m_1 v_1 + r_1, \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

где S_i – номер изделия, поступающего в технологическую систему;

m_k, m_{k_i} – целые числа, представляющие повторяемость циклов позиций подсистем $(k-1)$ -го или (k_i-1) -го класса в подсистеме k -го или k_i -го класса входного или i -го выходного ТМ;

r_k, r_{k_i} – номер позиции подсистемы k -го или k_i -го класса входного или i -го выходного ТМ, составляющий маршрут движения изделия S_i .

При вычислении параметров по системе (10) необходимо выполнение следующих условий:

– для правой части уравнений:

$$\text{если } r_k = 0, \text{ то } r_k = u_k;$$

– для левой части уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \text{если } r_k = 0, \text{ то } \xi_k &= u_k; \\ \text{если } r_k = 0, \text{ то } \xi_k &= a. \end{aligned} \right\}$$

Для системы (11) необходимо выполнение следующих условий:

– для правой части уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \text{если } i = 0, \text{ то } i &= n; \\ \text{если } r_{k_i} = 0, \text{ то } r_{k_i} &= v_{k_i}; \end{aligned} \right\}$$

– для левой части уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \text{если } i = 0, \text{ то } \xi &= n; \\ \text{если } i = b, \text{ то } \xi &= b; \\ \text{если } r_{k_i} = 0, \text{ то } \xi_{k_i} &= v_{k_i}; \\ \text{если } r_{k_i} = c, \text{ то } \xi_{k_i} &= c. \end{aligned} \right\}$$

Число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного ТМ, с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса i -го выходного ТМ, находится путем определения порядка нормального делителя и записывается следующим образом:

$$\left. \begin{aligned} R_1 &= \frac{\text{НОК} \left(\prod_{k=1}^P u_k, n \right)}{n}; \\ R_2 &= \frac{\text{НОК} \left(R_1, \prod_{k_i=1}^{P_i} v_{k_i} \right)}{\prod_{k_i=1}^{P_i} v_{k_i}}, \end{aligned} \right\}$$

где R_1 – число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного ТМ, с которым взаимодействует один выходной ТМ;

R_2 – число позиций элементов подсистемы 1-го класса входного ТМ, с которыми взаимодействует фиксированная позиция элементов подсистемы 1-го класса i -го выходного ТМ.

Предложенный в работе подход и уравнения дают возможность находить основные параметры маршрутизации изделий в разветвляющихся ППТС. Это позволяет обоснованно и целенаправленно управлять показателями качества изготовления изделий, а также обеспечить надежность и безопасность функционирования технологических систем. Кроме того, становится возможным повышение уровня автоматизации производственных процессов, осуществляемых на базе технологических систем непрерывного действия.

Литература

1. Михайлов А.Н. Основы проектирования и автоматизации производственных процессов на базе технологий непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2006. – 421 с.
2. Михайлов А.Н. Основы синтеза поточно-пространственных технологических систем непрерывного действия. – Донецк: ДонНТУ, 2002. – 379 с.
3. Михайлов, А. Н. Структура маршрутов и закономерности движений изделий в поточно-пространственных технологических системах // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных трудов. – Донецк: ДонГТУ, 1998. – № 3. – С. 64–79.
4. Курош А.Г. Курс высшей алгебры. – М.: Наука, 1971. – 431 с.
5. Математический энциклопедический словарь. – М.: Советская энциклопедия, 1988. – 847 с.
6. Фролович, Е. Н., Тиняков Г.А. Маршрутизация объектов обработки в автоматических роторных и роторно-конвейерных линиях // Теория машин автоматического действия. – М.: Наука, 1970. – С. 93–97.

УДК 539.4

С.Н. Царенко, А.В. Костенко, Ю.Г. Рахимов

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: tzarenko@gmail.com*

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКТИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ КРУГЛОЙ ПЛАСТИНЫ

В работе изложены особенности расчета напряженно-деформированного состояния конструктивных элементов на основе модели круглой пластины. Приведена соответствующая математическая модель. Показано практическое применение на примере расчета напряженно-деформированного состояния участка столешницы в виде секторальной пластины.

Ключевые слова: круглая пластина, напряжение, упругие деформации, несимметричный изгиб, нагрузка.

S.N. Tzarenko, A.V. Kostenko, Y.G. Rahimov

*Kamchatka State Technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: tzarenko@gmail.com*

FEATURES OF CALCULATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF STRUCTURAL ELEMENTS BASED ON A ROUND PLATE MODEL

The paper describes the features of calculating the stress-strain state of structural elements based on the model of a circular plate. The corresponding mathematical model is presented. A practical application is shown by the example of calculating the stress-strain state of a tabletop section in the form of a sectoral plate.

Key words: round plate, stress, elastic deformation, asymmetric bending, load.

Круглые пластины имеют широкое применение в конструкциях и сооружениях самого разного назначения: это днища и крыши резервуаров и сосудов, поворотные столы, планшайбы, столешницы и т. п. Качество и надежность конструкций и оборудования во многом зависят от правильного и точного расчета их элементов. Однако как показывает практика, иногда возникают нештатные ситуации, которые могут приводить к выходу из строя оборудования или к авариям. Предупредить возникновение поломок и аварий возможно, осуществляя мониторинг состояния оборудования. Правильно интерпретировать результаты наблюдений и увязывать их с изменениями параметров напряженно-деформированного состояния позволит создание новых математических моделей, как с применением классических методов теории упругости, так и современных программных комплексов объектного и имитационного моделирования.

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния (НДС) участка столешницы в форме секторальной пластины на основе модели несимметричного изгиба круглой пластины.

Современные программные комплексы численного моделирования позволяют решить задачу практически любой степени сложности, однако возникает проблема верификации результатов расчета, а без нее гарантировать качество и точность расчета невозможно. С другой стороны, классический подход доказал свою надежность временем, а созданные на основе теории упругости прикладные методы дают простой и эффективный инструмент расчета и проектирования различных объектов.

Математическая модель напряженно-деформированного состояния круглой пластины представлена дифференциальным уравнением [1]:

$$\nabla^2 \nabla^2 w = \left(\frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \right) \left(\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) = \frac{p_0}{D_0}.$$

Общее решение дифференциального уравнения находится в виде суммы решения однородного дифференциального уравнения и частного решения уравнения с правой частью:

$$w = w_0 + \bar{w}.$$

Общее решение однородного уравнения было получено Клебшем [2]:

$$w_0 = F_0(r) + \sum_1^{\infty} F_k(r) \cos k\varphi + \sum_1^{\infty} f_k(r) \sin k\varphi,$$

где

$$\left. \begin{aligned} F_0(r) &= C_{10} + C_{20}r^2 + C_{30} \ln\left(\frac{r}{R}\right) + C_{40}r^2 \ln\left(\frac{r}{R}\right), \\ F_1(r) &= C_{11}r + C_{21}r^{-1} + C_{31}r^3 + C_{41}r \ln\left(\frac{r}{R}\right), \\ F_k(r) &= C_{1k}r^k + C_{2k}r^{-k} + C_{3k}r^{k+2} + C_{4k}r^{-k+2} \text{ (при } k \neq 1). \end{aligned} \right\}$$

Функции $f_1(r), f_k(r)$ определяются такими же выражениями, как и функции $F_1(r), F_k(r)$.

Использовать приведенное решение для всех случаев крайне проблематично, так как разложение функций в ряд Фурье предопределяет граничные условия в окружном направлении, обойти эту проблему можно за счет некоторых «искусственных» приемов. Таким приемом является широко применяемый для расчета стержневых конструкций метод сил [3]. Идея метода заключается в том, что опорная реакция заменяется неизвестной силой, величина которой определяется из удовлетворения кинематического условия, налагаемого опорой. Аналогичный подход к расчету усиленного днища рассмотрен в статье [4].

Объектом исследования является участок столешницы в виде секторальной пластины радиусом $R = 0,33$ м, толщиной стенки $\delta = 36$ мм с уменьшением толщины по границе сектора до $\delta = 12$ мм, центральным углом $\alpha = \pi/2$ из акрила; механические характеристики материала [5]: модуль упругости $E = 10\,000$ МПа; коэффициент Пуассона $\mu = 0,4$; предел прочности на разрыв $\sigma_b = 35$ МПа.

В процессе эксплуатации на расстоянии 7 мм от скругленной части возникают трещины в радиальном направлении.

Целью исследования является определение НДС секторального участка столешницы.

Оценка НДС проводилась на основе модели упругого несимметричного изгиба круглой пластины [2]. Граничные условия для рассматриваемой задачи были приняты следующие:

- отсутствие прогиба и угла поворота центральной вершины сектора: $w_{r=0,\varphi} = 0, \nu_{r=0,\varphi} = 0$;
- отсутствие углов поворота в окружном направлении боковых ребер сектора: $\nu_{r,\varphi=\pi/4} = 0, \nu_{r,\varphi=-\pi/4} = 0$;
- отсутствие прогибов боковых вершин сектора: $w_{r=R,\varphi=\pi/4} = 0, w_{r=R,\varphi=-\pi/4} = 0$.

Внешнее воздействие на пластину принято в виде сосредоточенной силы P , приложенной к кромке пластины по оси симметрии сектора. Изменение прогибов и изгибающих моментов в окружном направлении вдоль кромки сектора представлены на соответствующих графиках (рис. 1 и 2).

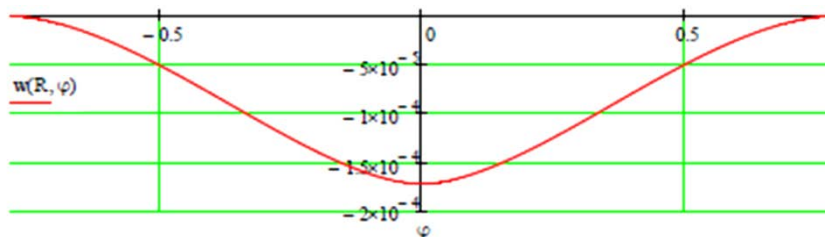


Рис. 1. Эюра прогибов по кромке пластины

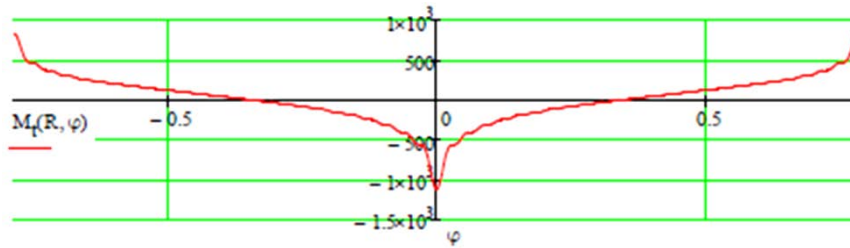


Рис. 2. Эпюра изгибающих моментов в окружном направлении по кромке пластины

Из анализа НДС полученной модели следует, что при нагрузке $P = 808$ Н нормальные напряжения от изгибающего момента в окружном направлении в зоне боковых вершин сектора составят порядка 35 МПа, что соответствует пределу прочности на разрыв и может привести к разрушению растянутых волокон.

Рассмотренный в работе подход к расчету НДС секторальной пластины можно распространить на широкий спектр прикладных задач, решаемых на основе модели несимметричного изгиба круглых пластин. Это позволит усовершенствовать методы расчета элементов конструкций и оборудования, а также дает возможность применения полученных решений для создания систем мониторинга состояния технических объектов.

Литература

1. Вайнберг Д.В., Вайнберг Е.Д. Расчет пластин. – Киев, 1970. – 436 с.
2. Бояришинов С.В. Основы строительной механики машин. – М.: Машиностроение, 1973. – 456 с.
3. Шевченко Ф.Л. Механика упругих деформируемых систем. Часть 1. Напряженно-деформированное состояние стержней. – Донецк: ДГТУ, 2006. – 293 с.
4. Улитин Г.М., Царенко С.Н. Влияние днища на конструктивные особенности обсадной колонны // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Гірничо-геологічна. – Донецьк: ДонНТУ, 2007. – № 125. – С. 116–121.
5. Физические величины: Справочник / Под ред. И.С. Григорьева, Е.З. Мейлихова. – М.: Энергоатомиздат, 1991. – 1232 с.

СЕКЦИЯ 4. НАУКОЕМКИЕ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ И РЕМОНТА ДЕТАЛЕЙ СУДОВ И СУДОВЫХ АГРЕГАТОВ

УДК 621.9

В.А. Витренко, А.А. Ефимов, А.Д. Михайлова, В.В. Черных

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,
Луганск, 91034
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

ОСОБЕННОСТИ ГИПЕРБОЛОИДНОГО ИНСТРУМЕНТА, ПРИМЕНЯЕМОГО ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВАЛОВ И ЗУБЧАТЫХ КОЛЕС

В работе рассматриваются различные виды гиперboloидных инструментов, полученные в пространственном станочном зацеплении при помощи различных схем формообразования. Предлагается несколько схем формообразования гиперboloидного инструмента в зависимости от совокупности движений двух взаимоогibaемых тел. Найдены схемы получения инструмента на серийном оборудовании как огibaющие обрабатываемых деталей типа тел вращения и зубчатых колес. В аналитическом виде определены поверхности инструмента, применяемого для обработки наружных и внутренних поверхностей деталей типа тел вращения и зубчатых колес.

Ключевые слова: гиперboloидный инструмент, обрабатываемая деталь, профиль инструмента, схема формообразования, система координат.

V.A. Vitrenko, A.A. Efimov, A.D. Mikhailova, V.V. Chernyh

*Lugansk Vladimir Dahl State University,
Lugansk, 91034
e-mail: vitrenko.vl@gmail.com*

PECULIARITIES OF HYPERBOLOID INSTRUMENT USED FOR SHAFTS AND GEAR-WHEELS TREATMENT

The article investigates different types of hyperboloid instrument obtained in space machine-tool engagement using various shape-forming schemes. Several shape-forming schemes for hyperboloid instrument depending on total movement of two mutually-enveloped bodies have been proposed. Schemes of obtaining instrument as enveloping rotating bodies parts and gear-wheels being treated using conventional equipment have been defined. Surfaces of instrument used for treatment of external and internal surfaces of rotating body parts and gear-wheels have been determined in analytical form.

Key words: hyperbola instrument, part being treated, instrument profile, scheme of shape-formation, coordinate system.

Работа посвящена совершенствованию конструкции различных машин и агрегатов наземного и водного транспорта, а также технологии их изготовления. Решена актуальная задача повышения качества и точности обработки деталей типа тел вращения и зубчатых колес при помощи принципиально нового гиперboloидного инструмента, полученного согласно схеме формообразования третьего класса. Основная инструментальная поверхность предлагаемого инструмента найдена как огibaющая обрабатываемых деталей в пространственном станочном зацеплении.

При изготовлении и ремонте деталей судов и судовых агрегатов их качество зависит от качества применяемого инструмента и степени его точности. Следовательно, вопросы, связанные с проектированием различного зуборезного инструмента, а также с разработкой различных схем его формообразования, являются в настоящее время актуальными вопросами. Поэтому в данном исследовании рассматриваются характерные особенности получения производящей гиперboloидной зубчатой поверхности.

Необходимо отметить, что от качества инструмента и его конструкции зависит точность, качество, структура и поверхностные свойства обрабатываемых деталей. Большинство деталей водного транспорта обрабатываются при помощи стандартного инструмента. Качество обработанной поверхности зависит от способа формообразования такого инструмента, а также от схемы обработки деталей при помощи полученного инструмента [1]. Наружные и внутренние поверхности цилиндрических, а также зубчатых деталей исследователи всего мира пытаются обрабатывать в пространственном станочном зацеплении. Инструмент, применяемый для такой обработки, как правило, получен в плоском станочном зацеплении. Такое положение приводит к тому, что основная инструментальная поверхность не совпадает с производящей поверхностью [2, 3]. Исследователи пытаются изменить геометрию инструмента различными методами, дающими незначительное приближение к теоретической геометрии такого инструмента [4].

В данном исследовании разработано три схемы формообразования инструмента, применяемого для черновой, чистовой, отделочной, сглаживающей и упрочняющей обработки таких деталей. В основу такого инструмента ложится исходная инструментальная поверхность, очерченная по кривой линии. Все эти инструментальные поверхности похожи друг на друга, но по своей геометрии имеют принципиально разную геометрическую форму.

Самый простой способ изготовления гиперboloидного инструмента может быть реализован на серийных зубофрезерных станках. В этом случае нарезаемая заготовка устанавливается на инструментальную оправку зубофрезерного станка, а на оправку, закрепленную на столе станка, устанавливается круглый резец, диаметр которого равен диаметру детали, которую будут обрабатывать при помощи формообразуемого гиперboloидного инструмента. Нарезаемая заготовка и круглый резец выставляются на линию кратчайшего межцентрового расстояния. Подача инструмента производится в радиальном направлении до получения заданного межосевого расстояния. В этом случае получается инструмент, представляющий собой тело вида однополостной гиперboloид. Такой инструмент может обрабатывать цилиндрические и зубчатые детали, размер которых соответствует размеру круглого резца, при помощи которого был получен этот инструмент. Необходимо отметить, что область применения такого инструмента – крупносерийное и массовое производство при обработке деталей небольшой длины. Схема изготовления инструмента по первой схеме формообразования представлена на рис. 1.

Согласно второй схеме формообразования можно получить квазигиперboloидный инструмент. В этом случае нарезаемая заготовка устанавливается на инструментальный шпиндель зубофрезерного станка. Круглый резец устанавливается на вращающийся стол зубофрезерного станка. Выбирается кратчайшее межцентровое расстояние, а шпинделю и столу станка дают согласованные вращения. Нарезаемая заготовка подается вдоль оси вращения стола станка. Схема нарезания такого инструмента представлена на рис. 2. Следует отметить, что при помощи полученного инструмента можно обрабатывать валы или зубчатые колеса, диаметр которых равен или меньше диаметра круглого резца, при помощи которого получен такой инструмент.

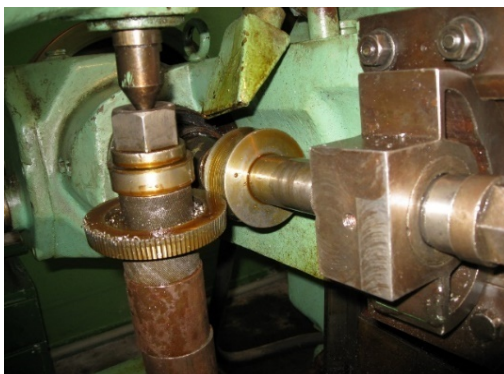


Рис. 1. Первая схема формообразования



Рис. 2. Вторая схема формообразования

Разработка и создание третьей схемы формообразования гиперboloидного инструмента направлены на то, чтобы создать такой инструмент, который может иметь непрерывное станочное зацепление с любыми цилиндрическими и зубчатыми деталями [5]. Чтобы получить гиперboloидную заготовку, необходимо описать по ней прямую линию, которая проходит по ее прямолинейной образующей. С этой целью необходимо воспользоваться схемой, представленной на рис. 3.

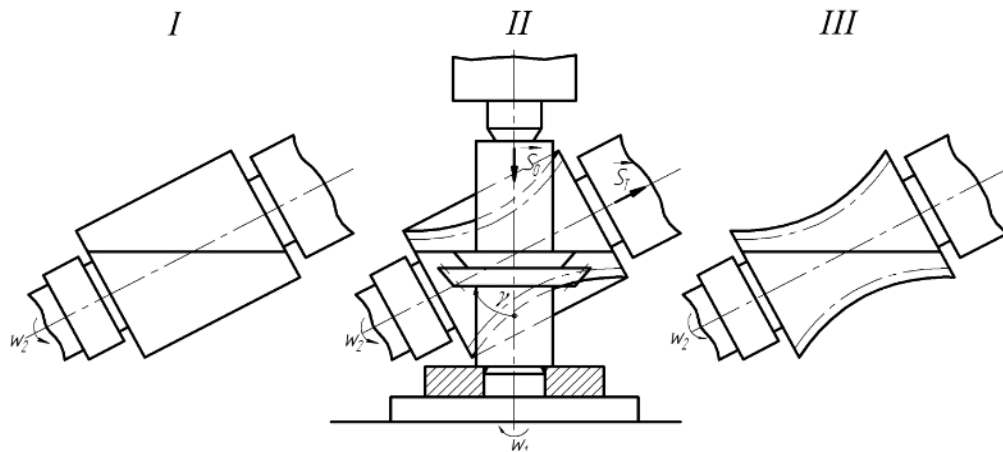


Рис. 3. Третья схема формообразования гиперболюидного инструмента

Для реализации третьей схемы формообразования нам потребуется зубофрезерный станок с протяжным суппортом. На этом станке круглый резец или зубчатое колесо (обкаточный резец) можно двигать вдоль прямолинейной образующей однополостного гиперболюида. Это возможно благодаря совокупности двух подач. Первая подача – это подача вдоль оси протяжного суппорта, а вторая – подача вдоль оси стола станка. Станок необходимо настроить таким образом, чтобы результирующая подача была направлена вдоль горизонтальной плоскости. Обработка осуществляется за два прохода. На первом проходе круглый резец протачивает гиперболюидную заготовку, получают различные накатные ролики. На втором проходе гиперболюидная заготовка опускается на величину, равную высоте круглого резца. Затем при помощи обкаточного резца нарезаются зубья на заготовке. Таким образом получается исходная инструментальная поверхность для гиперболюидных фрез. В результате такой обработки получается инструмент, основная инструментальная поверхность которого представляет собой однополостной гиперболюид. Такой инструмент может обрабатывать цилиндрические и зубчатые детали любой геометрии.

Благодаря третьей схеме формообразования были получены различные инструментальные поверхности с числом заходов от 3 до 17. В этом случае основная инструментальная поверхность полностью совпала с производящей поверхностью. После прорезания стружечных канавок были получены различные гиперболюидные фрезы и обкаточные резцы, представленные на рис. 4.

Такая конструкция многозаходного гиперболюидного инструмента позволила получить геометрические задние углы более 7° , что позволяет исключить такую дорогостоящую операцию как затыловка. Передний угол такого инструмента может быть под любым углом в зависимости от материала обрабатываемых цилиндрических зубчатых колес.

При помощи третьего способа формообразования инструментальной поверхности были получены накатные ролики гиперболюидной формы. При помощи этих роликов была произведена сглаживающая накатка крупногабаритных валов. На рис. 5 представлена схема накатки вала диаметром 235 мм при помощи гиперболюидного ролика, диаметр которого в горловом сечении 140 мм. Практика накатки таких деталей при помощи гиперболюидного ролика показала, что ролик в процессе накатки не требует заточки и перепрофилирования. За счет большой величины скорости скольжения между контактирующими поверхностями происходит процесс самозаточки накатного ролика. Необходимо отметить, что качество накатанной поверхности при одних и тех же режимах накатки значительно повышается.



Рис. 4. Гиперболюидные фрезы

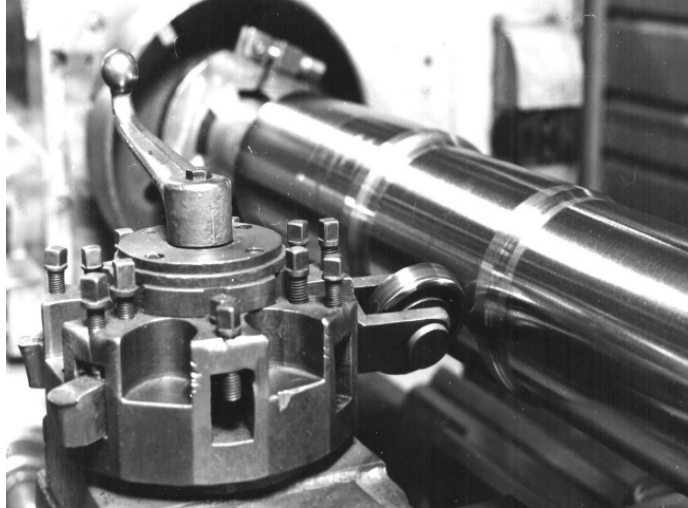


Рис. 5. Накатка вала гиперболическим накатником

Важно подчеркнуть, что в результате проведенных экспериментальных исследований удалось доказать, что при помощи разработанной третьей схемы формообразования гиперболического инструмента выполняется основное уравнение зацепления. Проведенные исследования по созданию новой схемы формообразования накатного и зуборезного многозаходного инструмента позволили получить новый инструмент, у которого исходная инструментальная поверхность полностью совпадает с производящей поверхностью. Экспериментальные исследования доказали, что одним и тем же инструментам можно обрабатывать зубчатые колеса различной геометрии. Что касается накатных роликов, то они также могут применяться для накатки валов любого диаметра.

Литература

1. *Родин П.Р.* Основы проектирования режущих инструментов. – К.: Вища школа, 1990. – 424 с.
2. *Сахаров Г.Н.* Обкаточные инструменты. – М.: Машиностроение, 1983. – 232 с.
3. *Семенченко И.И., Матюшин В.М., Сахаров Г.Н.* Проектирование металлорежущих инструментов. – М.: Машгиз, 1963. – 952 с.
4. *Цвис Ю.В.* Профилирование режущего обкатного инструмента. – М.: Машгиз, 1961. – 155 с.
5. Пат. 40480 Украина, МПК В23F 9/00. Способ нарезания гиперболических зубчатых колес / А.В. Витренко, О.С. Витренко, И.А. Кириченко, заявитель и патентообладатель ВНУ им. В.Даля. – № у 2008 13259; заявл. 17.11.2008; опубл. 10.04.2009, бюлл. № 7.

УДК 620.179

А.И. Давиденко, А.А. Давиденко, Е.В. Давиденко

*Луганский государственный университет им. В. Даля,
Луганск, 91034
e-mail: alikdave@outlook.com*

ИССЛЕДОВАНИЕ СТРУКТУРНЫХ ТРАНСФОРМАЦИЙ ОТВЕТСТВЕННЫХ ИЗДЕЛИЙ И КОНСТРУКЦИЙ МЕТОДОМ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

На основании результатов сопоставления спектра распределения частоты событий акустической эмиссии (АЭ) и зависимости «нагрузка – время» на заключительном участке диаграммы деформаций конструкционной стали установлен параметр АЭ, характеризующий срастание повреждений до момента образования макротрещины. Установлено, что на данном этапе происходит переход от дискретного к непрерывному распределению акустической эмиссии. Параметр частоты событий АЭ, характеризующий момент срастания повреждений, наблюдаемый до момента образования макротрещины, предложен в качестве отказа при проведении диагностики изделий, конструкций, включая конструкции под действием рабочего давления.

Ключевые слова: акустическая эмиссия, диагностика, пьезодатчик, макротрещина, отказ.

A.I. Davidenko, A.A. Davidenko, E.V. Davidenko

*Luhansk State University V. Dahl,
Lugansk, 91034
e-mail: alikdave@outlook.com*

RESEARCH OF STRUCTURAL TRANSFORMATION OF CRITICAL PRODUCTS AND CONSTRUCTION BY ACOUSTIC EMISSION METHOD

Based on the results of comparing the spectrum of the distribution of the frequency of events of acoustic emission (AE) and the dependence "load - time" in the final section of the structural steel deformation diagram, the parameter AE was established. This parameter characterizes the accretion of damage before the formation of a macrocrack. It was found that at this stage there is a transition from discrete to continuous distribution of acoustic emission. The AE event rate parameter characterizing the moment of damage coalescence observed before the formation of a macrocrack was proposed as a failure in diagnostics of products, structures, including structures under the action of operating pressure

Key words: acoustic emission, diagnostics, piezoelectric sensor, macrocrack, failure.

Акустико-эмиссионный метод контроля качества конструкций, изделий, основанный на явлении излучения деформированным телом упругих колебаний или акустической эмиссии (АЭ), достаточно перспективен для выявления дефектов в процессе эксплуатации изделий, металлоконструкций. Каждый параметр сигнала АЭ связан с определенным параметром процесса разрушения и является его акустическим отражением. Одна из задач акустико-эмиссионной диагностики – предупреждение аварийных ситуаций на основе определения кинетики повреждения на ранних стадиях разрушения, учитывая, что стадия накопления рассеянного повреждения занимает до 80% ресурса материала. Оценка стадийности (кинетики) процесса разрушения возможна только при наличии установок с регулируемой жесткостью, что обеспечивает нагрузку образцов в условиях постоянных или замедленных деформаций. Это позволяет зафиксировать с достаточной точностью деформации, соответствующие максимуму диаграммы « $P - \Delta l$ », проводить испытания образцов с разной скоростью, выращивать натуральные макротрещины при статической нагрузке и при этом определять соответствующие параметры АЭ.

Метод акустической эмиссии позволяет регистрировать границу текучести, момент появления трещины в материалах и исследовать ее развитие в процессе нагружения [1, 2]. Вместе с тем

необходимы исследования повреждений на ранних стадиях разрушения и выявления соответствующих акустических параметров до момента образования макротрещин, особенно при проведении диагностики изделий под действием повышенных нагрузок после циклической наработки, сосудов при гидроопресовке. При этом возникает вопрос локализации источника сигнала АЭ и его характеристика по степени опасности. Методы определения координат дефектов основаны на разнице времени прихода сигнала АЭ на пьезодатчики. Современные АЭ-системы наряду с записью формы сигналов и ее анализом в режиме реального времени позволяют уменьшить погрешность локализации дефектов до 5%. В известных работах развитие дефектов оценивается путем сравнения изменения определенного параметра сигналов АЭ с эталонной кривой [3, 4].

Цель исследований – выполнить оценку повреждения конструкционной стали при статическом деформировании на этапе зарождения макротрещины методом акустической эмиссии.

Исследования проведены с использованием сервосистемы Schenk Hidropuils и акустического анализатора Losap-320 с основными характеристиками: число каналов: 1 ... 8; диапазон измерения амплитуды: 0–127 дБ; диапазон измерения уровня шума: 0–127 дБ; число осцилляций: 0–1 000 000. Обработка сигналов АЭ осуществлялась на основе кластерного анализа встроенной компьютерной программой с выводом на экран монитора графиков распределения параметров АЭ. В качестве датчиков использовались пьезоэлектрические преобразователи диаметром 3 мм (рис. 1). Для отсеечения шумов от системы нагрузки в шпильки крепления образцов крепили пьезодатчики диаметром 12 мм. Образцы для испытаний были подобраны с различными концентраторами напряжений. В качестве материала для изготовления образцов использовалась конструкционная сталь Ст-20, $\sigma_{0,2} = 241$ МПа, $\sigma_{\text{в}} = 396$ МПа, $\delta = 27\%$, $\varphi = 67\%$.

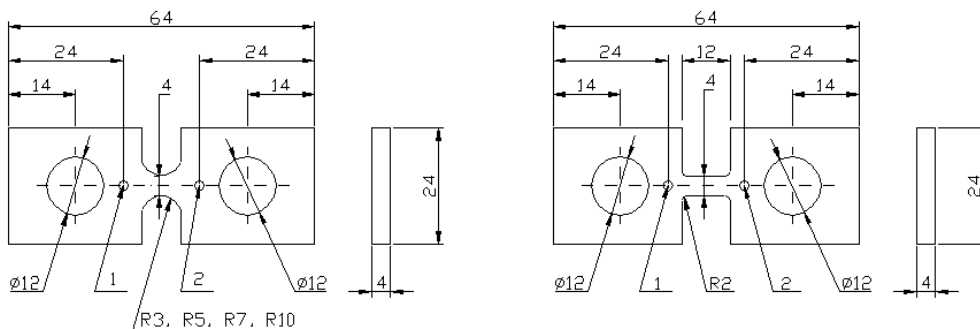


Рис. 1. Размеры образцов и схема расположения преобразователей АЭ:
1, 2 – пьезодатчики диаметром 3 мм

В процессе испытаний определяли распределение акустических параметров: число зарегистрированных превышений импульсов АЭ установленного уровня дискриминации времени наблюдения – суммарный счет АЭ, отношение суммарного счета АЭ к интервалу времени наблюдения – частота событий АЭ.

Типичная диаграмма распределения частоты событий АЭ вдоль спадающей ветви кривой диаграммы « $P - \Delta l$ » для образцов с радиусом концентратора $R = 7$ мм после циклической наработки приведена на рис. 2 совместно с диаграммой «нагрузка – время».

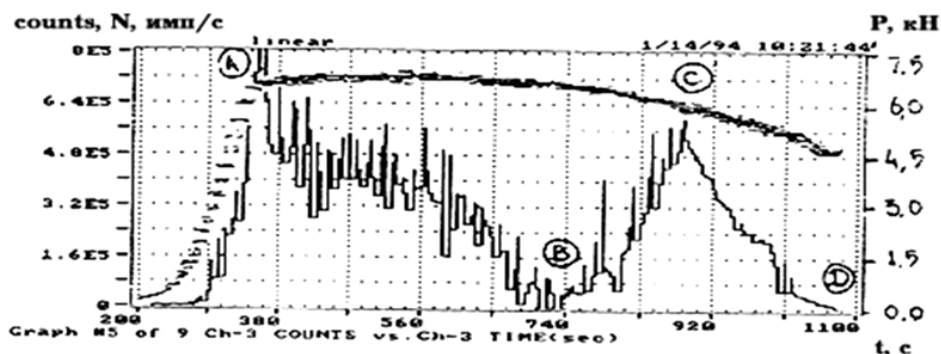


Рис. 2. Диаграмма частоты событий АЭ на спадающем участке кривой « $P - \Delta l$ » для образцов с радиусом концентратора $R = 7$ мм после циклической наработки ($P_{\text{max}}^{\text{ст}} = P_{\text{max}}^{\text{ст}}$, $N = 104$ цикла)

Как видно из рис. 2, наблюдается уменьшение частоты событий АЭ (скорости счета сигналов АЭ) от точки *A* к точке *B*, что свидетельствует о некотором упрочнении материала. Подобное распределение сигналов акустической эмиссии на данном участке наблюдалось в исследованиях [4] для различных конструкционных сталей. Точка *B* характеризует завершение участка упрочнения и начало зарождения повреждений. Следующий этап деформирования, связанный с ростом и накоплением повреждений на участке (*B – C*), отображается ростом распределения параметра частоты событий АЭ до точки *C*. После точки *C* наблюдается второй период уменьшения параметра частоты событий АЭ. На данном этапе деформирования наблюдается характерный переход от дискретного распределения акустической эмиссии к непрерывной АЭ, что характеризуется потерей части сигналов АЭ при образовании повреждений (пор) значительных размеров. Следовательно, точка *C* может быть определена как точка начала срастания пор образуемых повреждений. Последняя точка *D* на рис. 2 характеризует критическое срастание пор, формирование и начало роста макротрещины. На диаграммах «*P – Δl*» этот период характеризуется началом линейного (автомодельного) участка спадающей ветви кривой. Данные акустических исследований подтверждают и специально выполненные металлографические исследования образцов на стадии зарождения макротрещины. На рис. 3 показано, что после образования макротрещины в шейке образца, ее продвижение связано со слиянием вершины трещины с ближайшей порой. Таким образом, вершина трещины «ищет» пору, что и определяет в дальнейшем извилистый след трещины. Следует отметить, что точку *C* на рис. 2 можно характеризовать как момент завершения накопления повреждений, поскольку после точки *C* практически не наблюдается роста суммарного счета сигналов акустической эмиссии. Напомним, что суммарный счет включает сумму дискретных импульсов акустической эмиссии, выделенных прибором в одно событие.

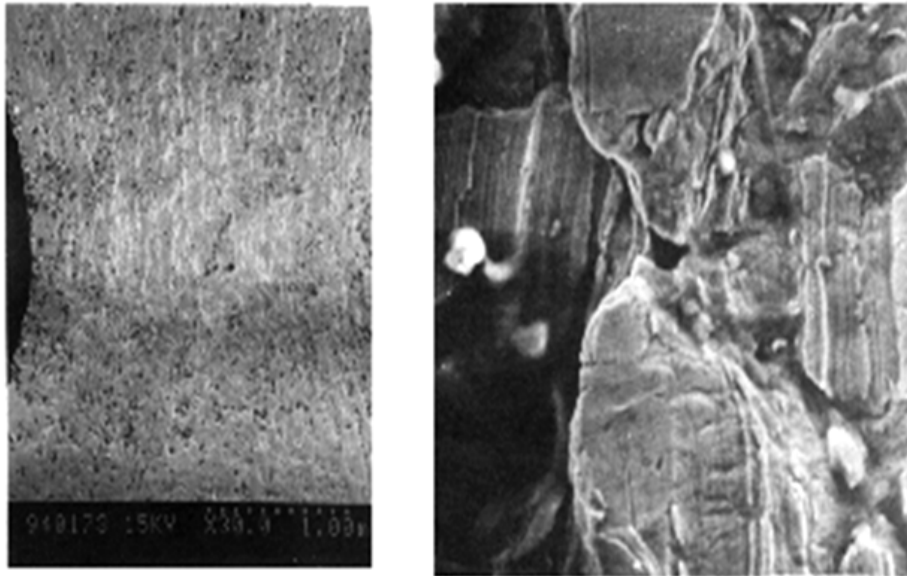


Рис. 3. Момент начала формирования макротрещины

Таким образом, полученные кривые изменения акустических параметров под действием внешней нагрузки отражают стадийность состояния структурных трансформаций исследуемых стальных образцов. Параметр АЭ и деформации, соответствующие точке *C*, могут быть использованы для установления отказов при проведении диагностики изделий, конструкций на малоцикловую усталость.

Результаты сопоставления спектра распределения частоты событий АЭ и зависимости «нагрузка – время» на спадающем участке диаграммы деформаций позволили выявить параметр АЭ, характеризующий срастание повреждений, выявленных до момента образования макротрещины. Установлено, что на данном этапе происходит переход от дискретного к непрерывному распределению АЭ, начало потери сигнала АЭ в дефектах срастания и его полное исчезновение в момент образования макротрещины. Параметр частоты событий АЭ, характеризующий момент срастания повреждений, может быть использован в качестве установления отказов при проведении диагностики изделий, конструкций, включая конструкции под действием рабочего давления.

Литература

1. *Стрижало В.А., Добровольский Ю.В., Стрельченко В.А.* Прочность и акустическая эмиссия материалов и элементов конструкции / Ин-т проблем прочности. – Киев: Наук. думка, 1990. – 232 с.
2. О применении метода акустической эмиссии для контроля промышленных конструкций / *А.Я. Недосека, М.А. Яременко, М.А. Овсиенко, Л.Ф. Харченко* // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2003. – № 3. – С. 3–6.
3. *Анисимов В.К.* Однозначное определение координат источников акустической эмиссии в листовых материалах // Дефектоскопия. – 1990. – № 7. – С. 11–15.
4. *Троценко В.Г., Стрижало В.А. и др.* Методика исследования закономерностей нестационарного развития трещин при циклическом нагружении с использованием явления акустической эмиссии // Проблемы прочности. – 1995. – № 12. – С. 30–33.

УДК 621.7.09

С.А. Матвиенко, А.Н. Михайлов, А.В. Лукичев, Ю.Н. Стрельник

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СИСТЕМНОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ СВОЙСТВ МОДИФИЦИРОВАННОГО ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ

Статья посвящена разработке теоретических основ комплексного обеспечения свойств модифицированных поверхностных слоев (МПС), работающих в неоднородных условиях эксплуатации, на базе функционально-ориентированного подхода и технологических связей. Установлена связь между технологическими воздействиями процесса модифицирования поверхностного слоя и эксплуатационными свойствами (показателями надежности), т. е. полезностью изделия.

Ключевые слова: поверхностный слой, зона, ресурс, свойства, технологические воздействия, мера полезности.

S.A. Matvienko, A.N. Mikhailov, A.V. Lukichev, Yu.N. Strelnik

*Donetsk national technical University,
Donetsk, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

THEORETICAL BASIS OF SYSTEM TECHNOLOGICAL SUPPORT OF THE PROPERTIES OF THE MODIFIED SURFACE LAYER

The article deals with the development of the theoretical foundations for the integrated supply of the properties of modified surface layers (MPS) operating in heterogeneous operating conditions, based on a functionally oriented approach and technological links. A relationship has been established between the technological impact of the surface layer modification process and the operational properties (reliability indicators), i. e. the usefulness of the product.

Key words: surface layer, zone, resource, properties, technological impact, measure of usefulness.

Подход к системному обеспечению свойств поверхностного слоя (ПС) деталей на основе функционально-ориентированной модификации с учетом технологических связей параметров подслоев заключается в комплексном проектировании технологий на базе решения триединой задачи:

- установления и сравнения эксплуатационных функций отдельных функционально-ориентированных зон (ФОЗ) ПС [1–3];
- формирования на основе этого анализа связей между параметрами (функционально-ориентированными свойствами (ФОС) ФОЗ ПС на базе принципа равенства ресурсов [4]:

$$R_1 = R_2 = \dots = R_n \quad (1)$$

или

$$k_1 R_1 = k_2 R_2 = \dots = k_n R_n, \quad (2)$$

где R_1, R_2, \dots, R_n – ресурс отдельных зон, n – количество ФОЗ;

k_1, k_2, \dots, k_n – коэффициент кратности ресурса;

– формирования связей между технологическими воздействиями (ТВ) и параметрами (ФОС) функционально-ориентированных зон ПС (параметрами надежности).

На гипотетической схеме теоретического подхода к технологическому обеспечению ФОС ФОЗ ПС шарового шарнира [5] показаны 4 группы элементов схем для ФОЗ, которые образуют между собой единую систему в проектировании свойств МПС в зависимости от особенностей

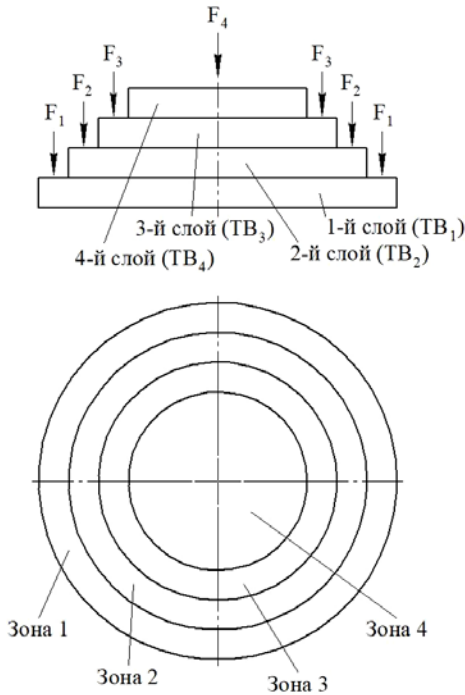


Рис. 1. Схема МПС шарового шарнира

действия эксплуатационных функций на базе выполнения заданных технологических воздействий (рис. 1).

Для обеспечения ФОС ФОЗ ПС в процессе модифицирования участвуют: F_1, F_2, F_3, F_4 – действующие эксплуатационные функции ПС; $ТВ_1, ТВ_2, ТВ_3, ТВ_4$ – технологические воздействия, направленные на формирование каждого подслоя МПС; C_1, C_2, C_3, C_4 – функционально-ориентированные эксплуатационные свойства каждой ФОЗ ПС соответственно. Между элементами схемы действуют определенные связи. Для каждой ФОЗ свойства реализуются на базе ФОС подслоев, структурно составляющих зону ПС. Внутреннее развитие каждого элемента системы выполняется с помощью связей-петель.

В теоретическом подходе выполняется объединение процессов проектирования каждой ФОЗ ПС с помощью прямых и обратных связей (рис. 2), которые можно моделировать потоками материи, энергии и информации.

Модифицированный ПС состоит из множества элементарных объемов V^2 , преобразованных из множества равных элементарных объемов V^1 , включающего два подмножества: подмножество $V^{1,1}$, полученное в результате формообразования детали (исходное состояние ПС), и подмножества нарощенных или внедренных $V^{1,2}$ комплексными технологическими воздействиями (КТВ):

$$V^2 = (V^{1,1}, V^{1,2}) \cup \text{КТВ}. \quad (3)$$

КТВ, направленное на модификацию ПС, может быть представлено в виде совокупности ТВ на $(V^{1,1}, V^{1,2})$:

$$\text{КТВ} = \{ТВ_1, ТВ_2, ТВ_3, ТВ_4, \dots, ТВ_k\}, \quad (4)$$

где КТВ – общее комплексное технологическое воздействие;

$ТВ_1, ТВ_2, ТВ_3, ТВ_4, \dots, ТВ_k$ – отдельные технологические воздействия (единичные, комбинированные и т. д.)

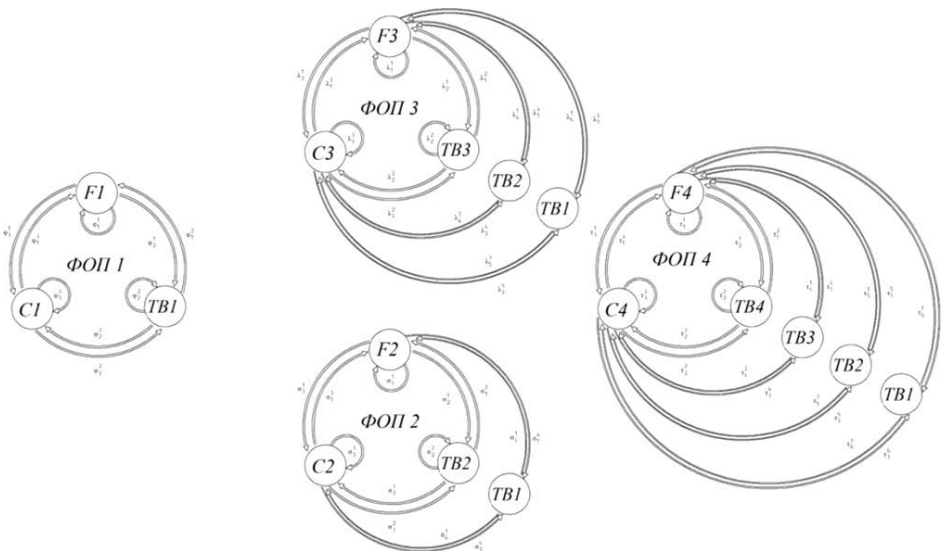


Рис. 2. Гипотетическая схема технологического подхода в обеспечении ФОС МПС

Текущее элементарное $ТВ_k$ можно представить в виде кортежа, состоящего из трех компонентов: материального, энергетического и информационного типов [6]:

$$ТВ_k = (m_k, e_k, i_k), \quad (5)$$

где m_k – материальная составляющая k -го элементарного ТВ;

e_k – энергетическая составляющая k -го элементарного ТВ;

i_k – информационная составляющая k -го элементарного ТВ.

Любая составляющая ТВ может быть описана совокупностью воздействий соответствующего типа:

$$\begin{aligned} m_k &= \{m_k^1, m_k^2, \dots, m_k^n\}; \\ e_k &= \{e_k^1, e_k^2, \dots, e_k^p\}; \\ i_k &= \{i_k^1, i_k^2, \dots, i_k^z\}, \end{aligned} \quad (6)$$

где m_k, e_k, i_k – элементарные воздействия соответственно материального, энергетического, информационного типа, составляющие k -е ТВ;

n, p, z – количество видов воздействий соответственно материального, энергетического, информационного типа.

Таким образом:

$$\text{КТВ} = \{(m_1, e_1, i_1); (m_2, e_2, i_2); \dots, (m_k, e_k, i_k)\}. \quad (7)$$

Каждый из рассмотренных компонентов ТВ необходимо рассматривать с точки зрения влияния на требуемые эксплуатационные свойства, показатели надежности и себестоимости с целью обеспечения заданной полезности изделия:

$$\begin{aligned} m_k^n &= (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\ e_k^p &= (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\ i_k^z &= (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}), \end{aligned} \quad (8)$$

где c_1, c_2, \dots, c_q – соответственно интервалы значений эксплуатационных свойств (износостойкость, коррозионная стойкость, усталостная прочность и др.);

n_1, n_2, \dots, n_q – интервалы значений показателей надежности (долговечность, ресурс и др.) и себестоимости.

Таким образом, морфология процесса модификации ПС может быть представлена следующим образом:

$$\text{КТВ} = \left\{ \begin{array}{l} \text{ТВ}_1 \\ \text{ТВ}_2 \\ \dots \\ \text{ТВ}_k = \left\{ \begin{array}{l} m_k = \left\{ \begin{array}{l} m_k^1 \\ m_k^2 \\ \dots \\ m_k^n = (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}) \end{array} \right\} \\ e_k = \left\{ \begin{array}{l} e_k^1 \\ e_k^2 \\ \dots \\ e_k^p = (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}) \end{array} \right\} \\ i_k = \left\{ \begin{array}{l} i_k^1 \\ i_k^2 \\ \dots \\ i_k^z = (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}) \end{array} \right\} \end{array} \right\} \end{array} \right\} \quad (9)$$

На всех уровнях КТВ должна выполняться совместимость производимых воздействий. В результате взаимодействия всех технологических факторов на каждом уровне КТВ образуется качественно новая структура и совокупность свойств МПС (качественно новая мера полезности изделий).

$$\begin{aligned}
 m_k^1 \wedge m_k^2 \wedge \dots \wedge m_k^n &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 m_1 \wedge m_2 \wedge \dots \wedge m_k &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 e_k^1 \wedge e_k^2 \wedge \dots \wedge e_k^p &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 e_1 \wedge e_2 \wedge \dots \wedge e_k &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 i_k^1 \wedge i_k^2 \wedge \dots \wedge i_k^p &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 i_1 \wedge i_2 \wedge \dots \wedge i_k &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 ТВ_1 \wedge ТВ_2 \wedge \dots \wedge ТВ_k &\Rightarrow (\{c_1, c_2, \dots, c_q\}, \{n_1, n_2, \dots, n_q\}); \\
 ТВ_k &= (\{c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kq}\}, \{n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{kq}\}).
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

$$КТВ = \left\{ \begin{array}{l}
 ТВ_1 = (\{c_{11}, c_{12}, \dots, c_{1q}\}, \{n_{11}, n_{12}, \dots, n_{1q}\}); \\
 ТВ_2 = (\{c_{21}, c_{22}, \dots, c_{2q}\}, \{n_{21}, n_{22}, \dots, n_{2q}\}); \\
 \dots \\
 ТВ_k = (\{c_{k1}, c_{k2}, \dots, c_{kq}\}, \{n_{k1}, n_{k2}, \dots, n_{kq}\}).
 \end{array} \right.
 \tag{11}$$

Концепция 4 уровней. Перспективным направлением повышения работоспособности деталей трибосистем является формирование на их поверхностях многокомпонентного функционального слоя за счет модификации ПС.

Предлагаемая концепция 4 уровней интегрированных технологий модификации ПС позволяет системно рассматривать и реализовывать весь потенциал разнообразнейших технологий, соответствующих аддитивному принципу «снизу вверх», субтрактивному принципу «сверху вниз», упрочняюще-модифицирующему принципу «горизонтально».

Концепция 4 уровней интегрированных технологий позволяет рассматривать явления, происходящие в ПС на макро-, мезо-, микро- и нанометрическом уровнях, на единой методологической основе. При этом надо учитывать, что на макроуровне производится модификация ПС глубиной, измеряемой в миллиметрах, на мезоуровне – от микрометров до миллиметра, на микроуровне – от нанометров до десятков микрометров, на наноуровне – от доли нанометра до нескольких нанометров.

Разработанные теоретические основы системного технологического обеспечения свойств МПС позволяют создать новую меру полезности изделия при его изготовлении за счет формирования комплексного технологического воздействия на ПС на базе функционально-ориентированного подхода, исходя из условий эксплуатации данного изделия.

Реализация предлагаемой концепции 4 уровней позволяет разрабатывать структуру многокомпонентного функционально-ориентированного ПС, обеспечивающего оптимальный ресурс и оптимальную экономическую себестоимость изделия.

Литература

1. Инженерия поверхности деталей / Под ред. А.Г. Суслова – М.: Машиностроение, 2008. – 318 с.
2. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
3. Михайлов А.Н. Общий подход в создании функционально-ориентированных макро-, микро- и нанотехнологий для изделий машиностроения // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XVIII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 12–17 сентября 2011 г.: в 4 т. – Донецк: ДонНТУ, 2011. – Т. 2. – С. 209–217.

4. *Пичко А.П.* Синтез технологического обеспечения комплексного повышения ресурса лопаток турбокомпрессора газотурбинных установок нефтегазовой промышленности: Автореф. дис. канд. техн. наук 05.02.08. – Донецк: ДонНТУ, 2019. – 23 с.

5. Методика нанесения функционально-ориентированного покрытия на шаровой палец наконечника рулевой тяги автобуса / *Ю.Н. Стрельник, Д.А. Михайлов, С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев, А.Н. Михайлов* // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2020. – № 3 (70). – С. 57–64.

6. *Сидорова Е.В., Михайлов А.Н.* Управление процессом резания посредством физико-химических параметров на основе функционально-ориентированного подхода // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2010. – № 2 (40). – С. 233–239.

УДК 621.79

С.А. Матвиенко, А.В. Лукичев

*Донецкий национальный технический университет,
Донецк, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

СТРУКТУРА И КЛАССИФИКАЦИЯ МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

В статье рассмотрена структура функционально-ориентированного модифицированного поверхностного слоя деталей машин. Предложена классификация функционально-ориентированных модифицированных поверхностных слоев. Разработана математическая структурно-функциональная символическая модель для однослойного и многослойного модифицированного поверхностного слоя деталей.

Ключевые слова: поверхностный слой, структура, зона, свойства, модификация, структурно-функциональная символическая модель.

S.A. Matvienko, A.V. Lukichev

*Donetsk national technical University,
Donetsk, 283001
e-mail: serge-matvienko@yandex.ru*

STRUCTURE AND CLASSIFICATION OF MODIFIED SURFACE LAYERS OF MACHINE PARTS

The article considers the structure of a functional-oriented modified surface layer of machine parts. A classification of functionally oriented modified surface layers is proposed. A mathematical structural and functional symbolic model for single-layer and multi-layer modified surface layer is developed.

Key words: surface layer, structure, zone, properties, modification, structural and functional symbolic model.

На функциональные характеристики и эксплуатационные параметры ответственных деталей машин значительное влияние оказывают структура и свойства их рабочих поверхностных слоев (ПС) [1–3]. При изготовлении и эксплуатации деталей можно рассматривать рабочий ПС детали как самостоятельную подсистему. На сегодняшний момент в связи с высокими эксплуатационными требованиями на финишных этапах технологических процессов (ТП) изготовления деталей применяются операции модификации ПС. Под модификацией понимается целенаправленное преобразование ПС в результате технологического внешнего воздействия, связанное с изменением структуры, химического и фазового состава.

Тенденции развития в области модификации ПС следующие [4–7]: удаление ПС (полностью или частично); целенаправленное изменение состава и свойств ПС для улучшения технических характеристик изделий; нанесение покрытий, обеспечивающих требуемый ресурс, надежность, работоспособность и другие характеристики; придание изделию или его части специфических свойств.

Установлено, что значительное повышение эксплуатационных свойств (ЭС) деталей машин может быть достигнуто путем формирования гетерогенно упрочненных структур ПС. При этом для получения гетерогенно упрочненных структур могут быть использованы различные методы поверхностно-пластической деформации (ППД), а точность формообразования обеспечивается методами субтрактивной обработки [8]. Несущая способность материала определяется соотношением свойств ПС и несущего подповерхностного слоя. Несущие поверхностные объемы материала должны быть многослойными, гетерофазными [9].

Направленному поиску прогрессивных технологий создания оптимальных ПС препятствует сложившийся стереотип необходимости равномерного упрочнения поверхностного слоя [10].

Сочетание в одном технологическом оборудовании аддитивного, субтрактивного и упрочняющего модулей имеет самые широкие перспективы [11].

Создание многослойных (модульных) ПС на основе выбора функций отдельных слоев при оптимизации их последовательности, формирования и толщин позволяет конструировать свойства и эксплуатационные характеристики деталей в целом [12].

При рассмотрении формирования ПС нанесением покрытий, как правило, не рассматривают слой ПС, полученный при предварительной основной обработке, в т. ч. субтрактивной и упрочняюще-модифицирующей. Как правило, для формирования ПС используются либо упрочняюще-модифицирующие технологии или нанесение покрытий, или аддитивные технологии, при этом не рассматривается возможность их комбинирования.

Структура функционально-ориентированного модифицированного поверхностного слоя (МПС)

Рассмотрим возможную структуру МПС, который состоит из слоев для выполнения эксплуатационных функций, выполнения роли подслоя и т. д.

Классификация функционально-ориентированных МПС по структуре

1. По направлению преобразования: 1.1. Снизу вверх (аддитивные); 1.2. Сверху вниз (субтрактивные); 1.3. Горизонтальные (упрочняюще-модифицирующие); 1.4. Комбинированные.

2. По количеству слоев: 2.1. Однослойные: 2.1.1. Однофункциональные; 2.1.2. Многофункциональные; 2.1.3. Функционально-ориентированные; 2.1.4. По ориентации свойств и структуры (2.1.4.1. Функциональная ориентация; 2.1.4.2. Зональная ориентация; 2.1.4.3. Градиентная ориентация; 2.1.4.4. Изменение по оси x ; 2.1.4.5. Изменение по оси y ; 2.1.4.6. Изменение по оси z); 2.1.5. По изменению толщины слоя (2.1.5.1. Постоянные; 2.1.5.2. Функционально-ориентированные). 2.2. Многослойные (модульные); 2.2.1. Однофункциональный каждый слой; 2.2.2. Каждый слой многофункциональный; 2.2.3. Одинаковые свойства всех слоев; 2.2.4. Различные свойства всех слоев; 2.2.5. Слои с функционально-ориентированными свойствами; 2.2.6. С разной или одной структурой; 2.2.7. С разной или одной топографией; 2.2.8. Разные или одинаковые по типу модификации.

3. По количеству модулей: 3.1. Одномодульный; 3.2. Многомодульный (композиционный).

4. По количеству эксплуатационных функций: 4.1. Однофункциональный; 4.2. Многофункциональный; 4.3. Функционально-ориентированный.

5. По количеству приоритетных эксплуатационных свойств (износостойкость, коррозионная стойкость, усталостная прочность и т. д.): 5.1. Один; 5.2. Два и более.

6. Комбинированные.

7. По функциональному назначению слоев: 7.1. С разным функциональным назначением (связующая подложка, обеспечение свойств непосредственно); 7.2. Однофункциональный.

8. По типу уровней: 8.1. Одноуровневые (макро-, микро-, мезо-, нано- уровень); 8.2. Многоуровневые; 8.3. Комбинированные.

9. По топологии слоев: 9.1. С одной топологией (площадью, толщиной, геометрической и пространственной формой); 9.2. С разной топологией.

Модификация ПС может быть осуществлена аддитивной, субтрактивной или упрочняюще-модифицирующей обработкой, или их комбинациями (например, ППД + модифицирование, нанесение покрытия).

МПС может иметь один слой (например, полученный при обработке резанием) и несколько слоев (например: исходный, полученный в результате формообразующей обработки, и слои покрытия). Каждый слой ПС может воспринимать действие одной или нескольких эксплуатационных функций по всей площади ПС или зонально, индивидуально или в паре с другими слоями. Многослойные модули, имеющие специальные свойства, а именно: зонально-ориентированное количество слоев; функционально-ориентированное количество слоев; зональную структуру свойств каждого слоя; функциональную структуру свойств каждого слоя; модульные ориентации свойств; ступенчатую ориентацию свойств; одинаковые свойства (толщину) во всех слоях; разные свойства (толщину) во всех слоях; другие свойства.

МПС может включать один или несколько модулей. Модуль – это некоторый однородный или сложноструктурный слой, имеющий в приоритете одно конкретное эксплуатационное свойство (ЭС), например износостойкий, коррозионно-стойкий или жаростойкий модули.

По количеству и зональному действию эксплуатационных функций МПС может быть однофункциональным, многофункциональным и с ФО-свойствами.

ПС не может иметь высокие параметры по всем ЭС, это достаточно сложно обеспечить, а в некоторых случаях невозможно. Поэтому в зависимости от эксплуатационных функций выбирается приоритетное одно или несколько ЭС и обеспечивается его или их высокое требуемое, исходя из ресурса детали, значение.

По функциональному назначению в структуре МПС каждый отдельный слой может иметь свое определенное назначение, например, непосредственно обеспечивать одно или несколько ЭС МПС или выполнять функцию прослойки или подслоя (рис.1).

МПС может иметь многоуровневую (нано-, микро-, мезо-, макро-) структурную организацию ПС, например один слой имеет макроуровень, другой – мезоуровень, третий – наноуровень. МПС может иметь формоизменяющуюся структуру (надстройка с уменьшением топологии (площади) преобразования: снизу вверх (наружная), или сверху вниз (внутренняя), или горизонтальную (постоянную по площади).

Каждый слой может иметь как постоянные (с погрешностью на обработку), так и изменяемые толщину (постоянная, функционально-ориентированная, изменяющаяся по оси x (y), другие свойства), физико-механические и химические свойства. Форма изменения свойств по структуре слоя определяет пространственную ориентацию данного слоя: функциональную; зональную; градиентную; изменение по осям координат x , y , z ; другие свойства.

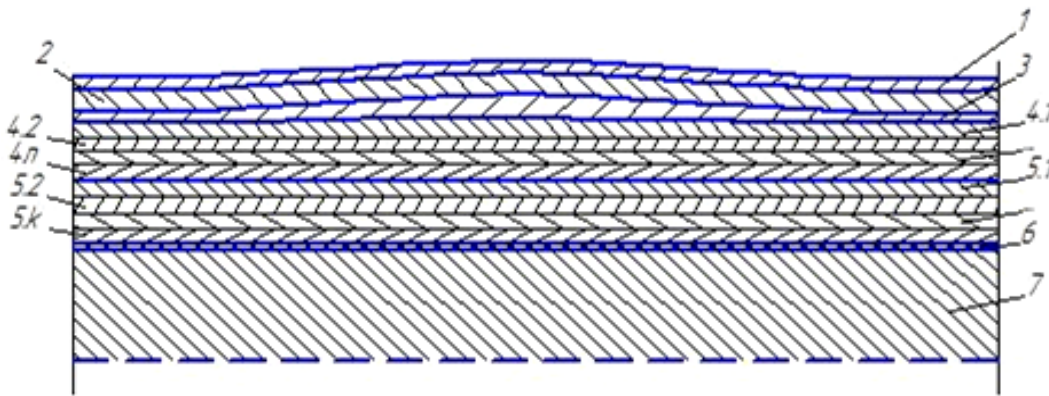


Рис. 1. Структура функционально-ориентированного МПС (ФОМПС):

1 – адсорбированная зона; 2 – зона оксидов; 3 – граничная зона; 4 – модуль первый: 4.1 – 1-й слой первого модуля, 4.2 – 2-й слой первого модуля, 4n – n-й слой первого модуля; 5 – модуль второй: 5.1 – 1-й слой второго модуля, 5.2 – 2-й слой второго модуля, 5k – k-й слой второго модуля; 6 – зона перехода от ПС к основному металлу (подложка модифицированного слоя); 7 – тело детали

ФОМПС изделий формируется по генеративному принципу, т. е. с подслоевой структурой:

1. Подслой (модуль), полученный предварительной субтрактивной обработкой;
2. Упрочненный, модифицированный, упрочненно-модифицированный подслой (модуль);
3. Генеративный ФО подслой (модуль);
4. Генеративные ФО n -слои (модули);
5. Поверхностный нанослой, текстурированный в процессе наращивания.

ФОМПС могут иметь различные схемы распределения свойств в горизонтальной (по поверхности) и вертикальной (по структуре) плоскостях, т. е. имеют сложную пространственную форму в пространстве.

ФОМПС могут иметь следующие свойства [5, 13]:

1. Изменяющиеся свойства в пределах поверхности и/или структуры ПС;
2. Ступенчатые свойства в пределах поверхности и/или структуры ПС;
3. Зональные свойства в пределах поверхности и/или структуры ПС;
4. Пятнистые свойства в пределах поверхности и/или структуры ПС;
5. Специальные свойства в пределах поверхности и/или структуры ПС.

Каждый подслой может совпадать или различаться по площади, форме, толщине, структуре, фазовому и химическому составу с одним или несколькими другими подслоями. Генерируемые ПС имеют нижний подслой, сформированный предварительной обработкой (наследственность).

ФОМПС деталей машин обеспечивает выполнение следующих особенностей эксплуатации при действии изменяющихся параметров функции по поверхности и неодинаковых структурных составляющих множества функций по детали: полную адаптацию ПС при изготовлении к особенностям эксплуатации детали в машине или технологической системе, предельный эксплуатационный потенциал каждой зоны ПС должны быть равны между собой, единовременный равномерный полный износ всего ПС в заданный период эксплуатации детали, качественно новую совокупность ЭС ПС и всего изделия в целом и другие особенности.

ФОМПС имеет переменную толщину по площади ПС, определяющуюся в зависимости от действия эксплуатационной функции. ФОМПС могут иметь одно или многомодульную многослойно-композиционную архитектуру с макро-, микро-, мезо- и наноструктурой и чередующимися слоями различного композиционного состава и функционального назначения.

На рис. 2 представлены структурные варианты.

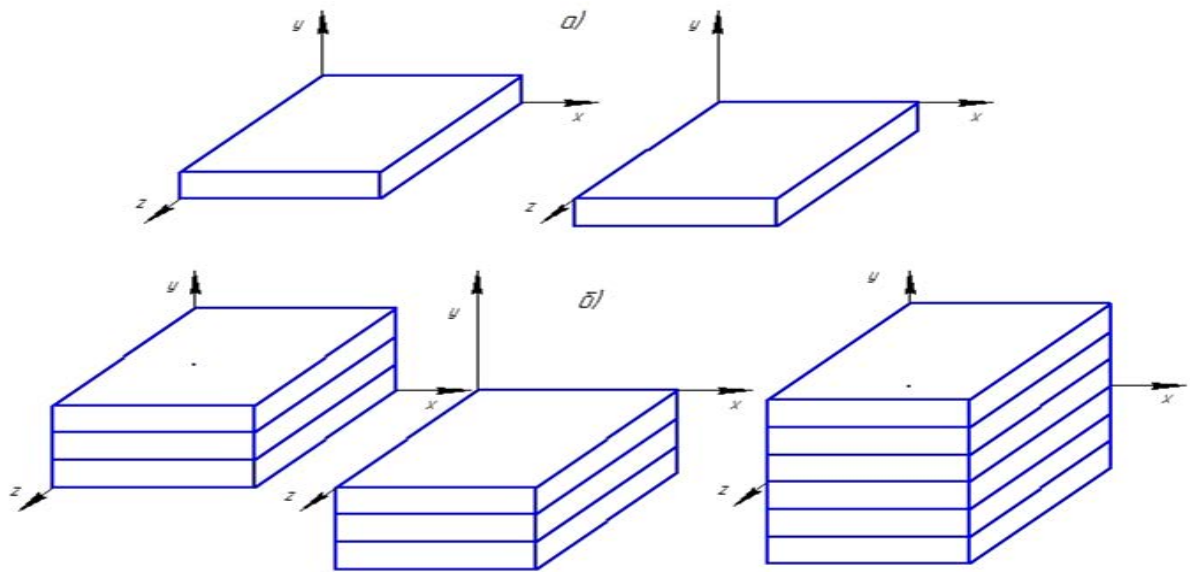


Рис. 2. Структурные варианты МПС:
а – однослойный МПС типа единовременно-единовременно непрерывный (ЕЕН);
б – многослойный МПС типа единовременно-единовременно прерывистый (ЕЕП)

Оси координат совпадают с плоскостью начала преобразования ПС.

Однослойный ФОМПС модифицируется непрерывно. В этом случае по высоте слоя z его свойства и структура однородны. Однослойный ФОМПС в направлении x и y по поверхности детали модифицируется единовременно в двух направлениях. В направлении z или $(-z)$ слой модифицируется и формируется непрерывно. Однослойный ФОМПС относится к типу единовременно-единовременно непрерывного.

Математическая структурно-функциональная символьная модель [5] для однослойного МПС (рис. 2, а) может быть представлена следующим выражением:

$$S_0 \rightarrow \bigwedge_{v=1}^{\infty} \left\{ (m_{x,y,z,-z}, e_{x,y,z,-z}, i_{x,y,z,-z}), \left(\bigwedge_{x=1}^{\infty} dl_x \cdot \bigwedge_{y=1}^{\infty} dl_y \cdot dl_z \mid dl_{-z} \right) \right\} \quad (1)$$

где S_0 – обозначение однослойного МПС типа ЕЕН;

$(m_{x,y,z,-z}, e_{x,y,z,-z}, i_{x,y,z,-z})$ – кортеж параметров технологических воздействий соответственно материального, энергетического и информационного характера;

$(dl_x \cdot dl_y \cdot dl_z \mid dl_{-z})$ – декартово произведение в x -м, y -м и z -м (или $(-z)$ -м) направлениях или окрестность объемной точки;

\bigwedge – обозначение непрерывности процесса модификации ПС в направлении z или $(-z)$.

Многослойный ФОМПС (рис. 2, б) формируется слоями в направлении x , y единовременно, а в направлении z и (или) $-z$ – прерывисто и относится к типу ЕЕП. Математическая структурно-

функциональная символьная модель [5] для многослойного ФОМПС может быть представлена следующим выражением:

$$S_m \rightarrow \bigvee_{z=1}^n \left\{ (m_{x,y,z,-z}, e_{x,y,z,z}, i_{x,y,z,-z}), \left(\bigwedge_{x=1}^{\infty} dl_x \cdot \bigwedge_{y=1}^{\infty} dl_y \cdot (dl_z \mid dl_{-z}) \mid (dl_z \& dl_{-z}) \right) \right\} \quad (2)$$

где S_m – обозначение многослойного МПС типа ЕЕП;

n – число слоев;

\bigvee – обозначение прерывистости процесса модификации в направлении z или $-z$.

Приведенные математические структурно-функциональные символьные модели однослойных и многослойных ПС, а также варианты ФОМПС позволяют выполнять синтез заданных или требуемых свойств детали и их полезности.

Предлагаемая классификация МПС имеет сложную генеративную многомодульную структуру, позволяющую обеспечить требуемый уровень свойств и показателей надежности наиболее ответственных деталей машин.

Литература

1. Инженерия поверхности деталей / Под ред. А.Г. Сулова. – М.: Машиностроение, 2008. – 318 с.
2. Сулов А.Г., Дальский А.М. Научные основы технологии машиностроения. – М.: Машиностроение, 2002. – 684 с.
3. Сулов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. – М.: Машиностроение, 2000. – 320 с.
4. Бутенко В.И., Кулинский А.Д. Модифицирование материала поверхностного слоя деталей при наноструктурирующей отделочно-упрочняющей обработке // Прогрессивные технологии и системы машиностроения. – 2016. – № 1 (52). – С. 29–35.
5. Михайлов А.Н. Основы синтеза функционально-ориентированных технологий. – Донецк: ДонНТУ, 2009. – 346 с.
6. Поверхностные слои и внутренние границы раздела в гетерогенных материалах / Под ред. В.Е. Панина. – Новосибирск: Изд. СО РАН, 2006. – 520 с.
7. Сафонов С.В. Методология проектирования комбинированных технологических процессов модификации поверхностного слоя изделий: Дис. ... д-ра техн. наук: 05.02.08 / ВГТУ. – Воронеж, 2018. – 341 с.
8. Афонин А.Н., Ларин А.И., Макаров А.В. Гетерогенное упрочнение деталей горно-металлургических машин поверхностным пластическим деформированием // Известия высших учебных заведений. – 2015. – № 11. – Т. 58. – С. 823–827.
9. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Перспективы кратного повышения эксплуатационных свойств естественным армированием металлических материалов при технологическом обеспечении многоуровневой гетерогенной структуры // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2014. – № 4 (112). – С. 3–10.
10. Технологическое обеспечение параметров несущего слоя деформационным и комбинированным упрочнением / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, А.В. Хандожко, С.О. Федонина // Наукоемкие технологии в машиностроении. – 2018. – № 10. – С. 43–48.
11. Киричек А.В. и др. Возможности аддитивно-субтрактивно-упрочняющей технологии // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2016. – № 4 (52). – С. 151–160.
12. Верещака А.А. Функциональные покрытия для режущих инструментов // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2015. – № 4 (48). – С. 25–39.
13. Функционально-ориентированные покрытия для повышения эксплуатационных свойств деталей машин / А.Н. Михайлов, Д.А. Михайлов, Р.М. Грубка, М.Г. Петров // Машиностроение и техносфера XXI века: Сборник трудов XXII Междунар. науч.-техн. конф. в г. Севастополе 14–19 сентября 2015 г. В 2 т. – Донецк: МСМ, 2015. – Т. 2. – С. 24–38.

УДК 621.983

М.Д. Солодовник, И.В. Волков, С.Н. Ясуник, М.Н. Кузнецова

*Луганский государственный университет имени Владимира Даля,
Луганск, 91034
e-mail: tm.univer@yandex.ru*

ТЕРМОУПРУГАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СОСТАВНОЙ ОБОЛОЧКИ В ПРОЦЕССЕ ЕЕ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РОТАЦИОННЫМ СПОСОБОМ

В статье рассмотрен способ ротационной вытяжки полых тонкостенных осесимметричных изделий с помощью двухроликowego деформирующего устройства. Определены напряжения деформированного состояния, позволившие получить значения критических деформаций и критериев потери устойчивости при механических нагрузках и тепловом воздействии, т. е. условия безопасного и надежного эксплуатационного ресурса.

Ключевые слова: ротационная вытяжка, оболочковое изделие, деформирующее устройство, формообразование, термоупругая нагрузка, устойчивость, эксплуатационный ресурс.

M.D. Solodovnik, I.V. Volkov, S.N. Yasunik, M.N. Kuznetsova

*Lugansk State University named after Volodymyr Dahl,
Lugansk, 91034
e-mail: jsn@ukr.net*

THERMOELASTIC STABILITY OF A COMPOSITE SHELL IN THE PROCESS OF ITS MANUFACTURING BY ROTARY METHOD

The article discusses a method of rotary drawing of thin-walled hollow axisymmetric products using a two-roller deforming device. The stresses of the deformed state were determined, which made it possible to obtain the values of critical deformations and criteria for buckling under mechanical loads and thermal action, i.e. conditions for a safe and reliable service life.

Key words: rotary drawing, shell product, deforming device, shaping, thermoelastic load, stability, service life.

Изготовление оболочковых изделий (особенно с учетом увеличения номенклатуры и программы выпуска таковых) требует совершенствования технологий их изготовления, оборудования, реализующего данные технологии, создания новых материалов с необходимыми свойствами, а также возможности оптимизации по большинству параметров, что в конечном счете обеспечит увеличение безопасного ресурса готовой продукции.

Для формообразования полых тонкостенных осесимметричных изделий предлагается использовать модернизированное двухроликowego устройство (рис. 1) [1], в котором один ролик, расположенный снаружи, – деформирующий, второй, расположенный внутри деформируемого изделия, – поддерживающий.

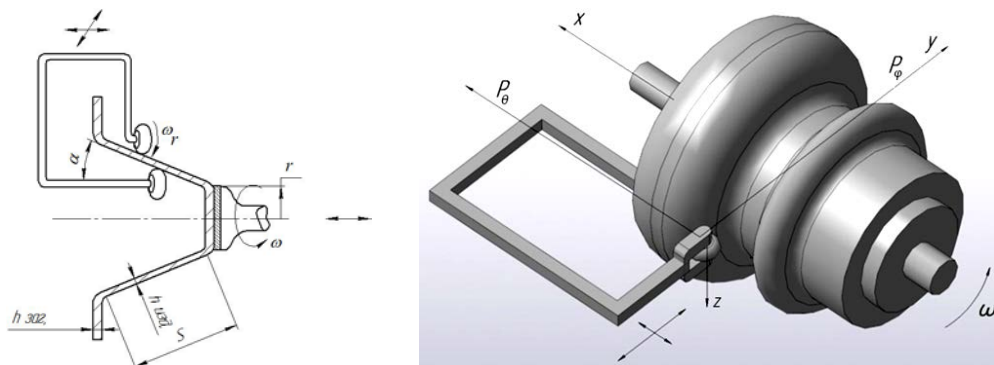


Рис. 1. Схема вытяжки оболочки

Раздел прикладной механики «Термоупругая устойчивость» представляет интерес при силовом расчете оболочковых конструкций, позволяющем оценить возможность возникновения явлений, влияющих на их несущую способность из-за снижения их жесткости, появления остаточных деформаций, а в термоупругих процессах – и доминирующего выпучивания.

Рассмотрим процесс формообразования оболочки сложной формы – конической волнообразной – с выделением одного из исследуемых участков – малогабаритного конического соединительного участка шириной $S = AB$, длиной $2\pi r$ и толщиной h .

Для всех частей составной оболочки общие дифференциальные уравнения упругопластического изгиба круглой заготовки в одно из промежуточных конических колец при угловой скорости формообразования ω по аналогии цилиндрического и сферического случаев, уже хорошо изученных, и с учетом идеологии теории пластичности [2], представлены в виде:

$$D\nabla^2\nabla^2W = \rho h\omega^2 w \sin^2\beta - \frac{h \operatorname{tg}\beta}{s} \frac{\partial^2\Phi}{\partial s^2}, \quad (1)$$

$$\nabla^2\nabla^2\Phi = \frac{Eh \operatorname{tg}\beta}{s} \frac{\partial^2\omega}{\partial s^2}, \quad (2)$$

где $D(T)$, $E(T)$ – цилиндрическая жесткость и модуль упругости, зависящие от температуры T ;

s – длина образующей конуса;

Φ – функция напряжений;

ρ – плотность;

W – прогиб;

β – конусность у основания на каждом участке стыковки участков оболочки.

Поскольку граничные условия более целесообразно и рационально составлять по W , сведем систему уравнений (1) и (2) к одному относительно W уравнению. Процедура объединения состоит в умножении (1) на S (образующая конуса) с последующим двукратным применением к нему операторов $\nabla\nabla$ и введением в него уравнения (2), что дает уравнение без наличия функции напряжения Φ :

$$D\nabla^2\nabla^2(S\nabla^2\nabla^2) = \rho h\omega^2 W \sin^2\beta - Eh \operatorname{tg}\beta \frac{\partial^2}{\partial s^2} \left(\frac{1}{S} \cdot \frac{\partial^2 W}{\partial s^2} \right). \quad (3)$$

Граничными условиями в локальной системе от $S_0 = 0$ уравнения (3) будут

$$W = 0 \frac{\partial W}{\partial S} = 0 \quad (4)$$

и выполняются на нижней границе малогабаритного усеченного кольцевого конуса между точками A и B как заземленного уже с готовой нижней частью изделия.

Верхнюю границу соответствующего конуса $S = AB$ при подходе к ней деформирующих роликов можно считать свободной с граничными условиями, отвечающими нулевой перерезывающей силе и моменту загиба края кольца в кромку для дальнейшего волнообразования. При этом граничные условия примут вид:

$$\frac{\partial}{\partial S}(\nabla^2 W) = 0, \quad \frac{\partial^2 W}{\partial s^2} + \frac{\mu}{S} \cdot \frac{\partial W}{\partial S} = \frac{\sigma_T \pi r h^2}{3}, \quad (5)$$

где h – толщина заготовки;

μ – коэффициент Пуассона;

σ_T – предельное значение пластического напряжения для достаточного загиба заготовки.

Кстати, этой процедуре подвергаются все части составной оболочки для их сопряжения. Поэтому в дальнейшем для удобства индексы i над всеми параметрами снимаются. Очевидно, такой подход не противоречит, а развивает (уточняет) методику расчета гофрированных труб-оболочек [3; с. 622, 134, рис. 280].

Громоздкая реализация уравнения (3) с соответствующими условиями (4), (5) дает повод (возможность) ограничиться обозримыми рабочими формулами для предельного значения

обжимных контактных усилий q и соответствующих предельным статическим напряжениям по-
тер устойчивости процесса формообразования и готовых изделий (для усеченного конуса):

$$q_{\text{пред}} \approx 5E \left(\frac{h}{l} \right)^{5/2} \cdot \frac{(\operatorname{tg} \alpha)^{3/2}}{(1-\mu^2)^{3/4}}; \quad (6)$$

меридиональные напряжения: $\sigma_{\theta} \uparrow \downarrow P_{\theta}$:

$$\sigma_{\theta} = \frac{q \cdot s}{2h \operatorname{tg} \alpha} \left(\frac{l^2}{s} - s \right); \quad (7)$$

кольцевые напряжения: $\sigma_{\varphi} \uparrow \downarrow P_{\varphi}$:

$$\sigma_{\varphi} = \frac{q \cdot s}{2h \operatorname{tg} \alpha}, \quad (8)$$

где $l \in s$ – длины соединительных кольцевых конусов;

l_1 – длина полного конуса,

$s = \frac{R-r}{\sin \alpha}$ – длина внешней загрузки усеченного конуса;

P_{θ} и P_{φ} – компоненты внешних контактных усилий со стороны деформирующих роликов.

К предыдущим формулам необходимо присоединить значение предельной (недопустимой)
угловой скорости процесса пластического формообразования:

$$\omega_{\text{пред}} = \sqrt{\frac{2\sigma_T \ln \frac{R}{r}}{\rho(R^2 - r^2)}}. \quad (9)$$

Таким образом, вышеизложенное закрывает поставленный в статье вопрос об упругой ус-
тойчивости [5] процесса формообразования в рамках решения физико-технической задачи, ана-
литически базирующейся на отсутствии требований выполнения условий совместности дефор-
мации [2], а приведенные предельные значения внутренних напряжений и угловой скорости ω
определяют несущую способность оболочек, изготавливаемых и эксплуатируемых в обычных
условиях.

Известно, что для изготовления оболочек сравнительно большой толщины из твердых спла-
вов необходим активный и управляемый подогрев заготовок специально изготовленными газо-
воздушными горелками, синхронно опережающий движение деформирующего устройства.
Режим подогрева устанавливается в экспериментально-производственных условиях при наличии
температурных измерительных устройств [4]. При серийном изготовлении оболочек согласно
технологическим требованиям и возможностям станочного парка подогрев оказывается доста-
точным в диапазоне 300–400°C.

Необходимо отметить, что при этих температурах для алюминиево-магниевого сплавов
в 3–5 раз уменьшаются пределы прочности, текучести, содействующие процессу изготовления
толстых оболочек, но повышается относительное удлинение без изменения напряжений за счет
наклепа. Ниже приводятся аналитические критерии термостойкости оболочек.

Рассмотрим деформирующее устройство, представленное на рис. 1, в которое дополни-
тельно введено тепловое устройство – форсунка, необходимая для технологического дости-
жения нужной температуры формообразования, на рис. 2 приведена схема силовых внешних
воздействий.

Дифференциальные уравнения заземленной внизу усеченной конусообразной оболочки для
расчета и их реализация отличаются от уравнений (1), (2) и т. д. введением температурной со-
ставляющей T . Поэтому ограничимся в рамках теории пластичности обозримыми рабочими
формулами для определения внутренних напряжений, зависящих от нагрева заготовок и угловой
скорости ω формообразования [3, 5]:

$$\sigma_{\theta} = \frac{E \cdot \alpha \cdot T}{3} (R - 2r) + \frac{\rho \omega^2}{4} [(3 + \mu) R^2 - (1 + 3\mu) r^2], \quad (10)$$

$$\sigma_{\phi} = \sigma_{\theta} \frac{2s^2}{l^2 - s^2}, \quad (11)$$

где $s = \frac{(R-r)}{\sin \alpha}$ – длина вдоль обжимной нагрузки q усеченного конуса;

$l = \frac{r}{\sin \alpha}$ – расстояние от верхнего малого основания до вершины полного конуса с вершиной.

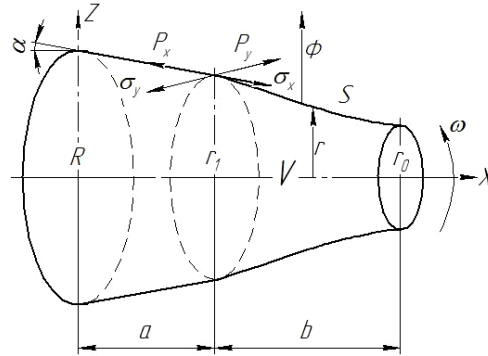


Рис. 2. Характерные участки оболочки с внутренними напряжениями σ_x, σ_y , равнодействующими контактными усилиями p_x, p_y и инерционной силой Φ ($\Phi = \rho h \omega^2 \cdot S \sin \alpha$)

Так как речь идет о необходимости комплексных совместных методов решения поставленной инженерно-технической задачи разработки прочностного расчета, применяется силовой подход в исследовании термоупругой устойчивости. Поскольку основные силовые критерии устойчивости очерчены формулами (10), (11), к ним необходимо присоединить формулы (7) и (8) как статических упругих составляющих напряжений усеченного конуса, а также температурный критерий (тепловой прогрев) $T_{\text{крит}}$.

Так, при отношении $\left(\frac{h}{R}\right) \approx 0,05 \div 0,1$ можно пользоваться не только ориентировочным, но и расчетным значением:

$$T_{\text{крит}} \approx \frac{4}{3(1+\mu)} \cdot \frac{1}{\alpha} \cdot \left(\frac{h}{R}\right)^2, \quad (12)$$

где μ – коэффициент Пуассона;

α – коэффициент линейного расширения.

Анализ приведенных рабочих формул подтверждает, что учет температуры занижает границу устойчивости процесса и существенно зависит от отношения $\left(\frac{h}{R}\right)$.

Вышеизложенное подтверждает необходимость комплексных методов решения поставленной инженерно-технической задачи разработки прочностного расчета оболочечных конструкций. Конструктор при наличии экспериментальной базы [6, 7] может прогнозировать n -кратный запас устойчивости готовых изделий и в рамках принятых допущений теории пластичности определять их несущую способность и эксплуатационное качество [8].

Упругопластическая технология изготовления оболочек, используемых в различных отраслях машиностроения, в частности в авиа- и судостроении [8], химической и пищевой промышленности, при обычных температурных условиях позволяет производить изделия толщиной 3–5 мм в основном из алюминиевых и низкоуглеродистых сплавов.

Труднообрабатываемые заготовки с относительно высокой прочностью и толщиной могут обрабатываться только при повышенных температурах в диапазоне 300–500°C, при которых большинство материалов снижают прочностные и повышают пластические характеристики,

сопутствующие ротационной вытяжке. В статье обосновывается аналитико-практическая необходимость и возможность получения технологических решений процесса изготовления для наиболее востребованных составных оболочек конической конфигурации как самых сложных в изготовлении и в определении их несущей способности. В этой связи предложена математическая модель и соответствующие дифференциальные уравнения по определению напряжения деформированного состояния, позволивших получить значения критических деформаций и критериев потери устойчивости при механических нагрузках и тепловом воздействии, т. е. условия безопасного и надежного эксплуатационного ресурса.

Литература

1. Обоснование изготовления оболочковых изделий ротационной вытяжкой / *М.Д. Солодовник, С.Н. Ясуник, И.В. Волков, М.Н. Кузнецова* // Ресурсосберегающие технологии производства и обработки давлением материалов в машиностроении. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля, 2019. – № 4 (29). – С. 19–26.
2. *Ильющин А.А., Ленский В.С.* О соотношениях и методах современной теории пластичности // Известия Северо-Кавказского научного центра высшей школы. – Ростов-на-Дону, 1974. – № 3. – С. 3–11.
3. *Тимошенко О.П.* Пластинки и оболочки. – М: ГИФ-МЛ. – 1963. – 635 с.
4. *Григорьев П.Ф.* Нагрев при ротационной вытяжке алюминивно-магниевого сплава // Конструирование и производство транспортных машин. – Харьков: Изд-во Харьковского ун-та «Вища школа». – 1984. – С. 96–99.
5. *Вольмир А.С.* Устойчивость деформационных систем. – М.: Наука. – 1967. – 984 с.
6. *Конский А.П.* Ротационная вытяжка оболочковых изделий // Вестник Института инженерной механики. – Луганск: ЛНУ им. В. Даля. – 2017. – С. 124–130.
7. *Могильный Н.И., Могильная Е.П.* Автоматизированная ротационная вытяжка оболочковых изделий // Машиностроение. – 1998. – № 1. – С. 12–18.
8. *Слюсарь Б.Н., Михайликов В.М., Шевцов С.Н.* Сертификация производства летательных аппаратов. – Ростов-на-Дону: Изд-во ДГТУ, 2007. – 100 с.

УДК 620.179

Р.М. Трибунская, С.А. Жуков

*Камчатский государственный технический университет,
Петропавловск-Камчатский, 683003
e-mail: rayamt@mail.ru*

КОНЦЕПЦИЯ ФРАКТАЛОВ В ОЦЕНКЕ МЕХАНИЗМА УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ СЕРОГО ЧУГУНА МЕТОДАМИ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Объектом исследования является микроструктура деталей из серого чугуна, подвергнутых различным методам поверхностного пластического деформирования; выбор оптимальных технологических параметров поверхностного пластического деформирования для повышения надежности.

Ключевые слова: фракталы, упругие и пластические деформации, цементит, матрица, концентраторы напряжений, остаточные напряжения, параметризация.

R.M. Tribunskaya, S.A. Zhukov

*Kamchatka state technical University,
Petropavlovsk-Kamchatsky, 683003
e-mail: rayamt@mail.ru*

THE CONCEPT OF FRACTALS IN THE EVALUATION OF THE MECHANISM OF STRENGTHENING OF GRAY CAST IRON PARTS BY SURFACE PLASTIC DEFORMATION METHODS

The object of the study is the microstructure of gray cast iron parts subjected to various methods of surface plastic deformation; selection of optimal technological parameters for surface plastic deformation to improve reliability is discussed.

Key words: fractals, elastic and plastic deformations, cementite, matrix, stress concentrators, residual stresses, parameterization.

Объектом исследования является микроструктура деталей из серого чугуна, подвергнутых различным методам поверхностного пластического деформирования; выбор и оценка критериев микроструктуры с применением концепции фракталов.

Цель исследования – анализ процессов самоорганизации диссипативных структур, образующихся при обработке ППД, с применением методов количественного анализа и цифровой мультифрактальной параметризации, основу которой составляет оригинальная теоретико-информационная интерпретация мультифрактального формализма.

Этот метод состоит из двух этапов: 1) получение изображения исследуемых структур и дальнейшая их сегментация; 2) расчет мультифрактальных параметров структур, сопоставление полученных результатов с механическими и другими физико-химическими свойствами материалов.

Результаты исследований и анализ литературных источников позволяют представить механизм поверхностного упрочнения следующим образом. В процессе деформации большую роль играют искажения (дефекты) кристаллической решетки. Под действием напряжений от внешних сил в искажениях кристаллической решетки возникает пластическая деформация. В сером чугуне при малых напряжениях главную роль играют деформации матрицы, особенно упругие. При больших же напряжениях эту роль начинают играть деформации полостей графита, главным образом остаточные [1].

Это связано с тем, что при пластической деформации происходит раздробление кристаллов на фрагменты и блоки с большими искажениями кристаллической решетки на их границах. Границы фрагментов и блоков служат препятствием для сдвиговой деформации, и с увеличением

количества фрагментов и блоков соответственно возрастает и число границ, около которых задерживаются дислокации. Увеличение степени разориентировки фрагментов и блоков дополнительно повышает сопротивление границ прохождению через них дислокаций, что также увеличивает сопротивление деформированию [2]. В этом состоит суть структурных изменений при упрочнении поверхностно-пластическим деформированием.

Исследования по различным методам ППД серого чугуна показали, что серые чугуны с пластинчатой формой графита в условиях мягкого нагружения обладают достаточной пластичностью, так как в этих условиях надрезающее действие графита сказывается относительно слабо. При жестком нагружении свойства *СЧ* определяются графитом, а при мягком нагружении их определяет металлическая основа.

В результате проведенных исследований [4] по обработке втулок цилиндрических виброраскатыванием установлено, что процесс позволяет исключить из технологического процесса одну из трудоемких операций – хонингование; износостойкость цилиндров, обработанных виброраскатыванием, повышается на 20–30%, износ поршневых колец уменьшается на 5–7%.

Рассматриваемый и предлагаемый метод виброраскатывания *СЧ* позволяет достичь высоких показателей качества и механических свойств поверхностного слоя, а также повысить ресурс деталей, упрочненных данным методом.

В результате виброраскатывания происходит упрочнение поверхностного слоя за счет остаточных деформаций, которые образуются в чугуне и обязаны своим происхождением как пластическим деформациям матрицы, так и остаточным деформациям полостей графита. Эти деформации особенно резко проявляются на поверхности, где они могут приводить к образованию трещин в случае высоких нагрузок.

Общие деформации чугуна ($\Sigma\varepsilon$) могут быть представлены как сумма:

$$\Sigma\varepsilon = \varepsilon_{\text{обр. м}} + \varepsilon_{\text{обр. п. п}} + \varepsilon_{\text{ост. м}} + \varepsilon_{\text{ост. п}}$$

где $\varepsilon_{\text{обр. м}}$ – обратимые (упругие) деформации матрицы;

$\varepsilon_{\text{обр. п. п}}$ – обратимые деформации полостей графита;

$\varepsilon_{\text{ост. м}}$ – остаточные (пластические) деформации матрицы;

$\varepsilon_{\text{ост. п}}$ – остаточные деформации полостей графита.

Очевидно, что возникающие упругие деформации матрицы являются основными при малых напряжениях. Большие напряжения формируют остаточные деформации полостей графита. При этом полости графита принимают участие в образовании деформации только в том направлении, где происходит увеличение размеров (продольном при растяжении и поперечном при сжатии). В направлении же уменьшения размеров (поперечном при растяжении и продольном при сжатии) полости графита, сопротивляясь сжатию, не влияют на деформацию, которая определяется в этом случае только матрицей.

Поэтому модули упругости в продольном направлении при растяжении и в поперечном направлении при сжатии понижаются с увеличением напряжений, а в поперечном направлении при растяжении и в продольном при сжатии – остаются постоянными и от величины напряжения не зависят. В этих случаях они выражают в чистом виде только упругие свойства матрицы (E_0). Из этого также следует, что коэффициент Пуассона в условиях растяжения понижается с увеличением напряжений. Экстраполируя его значение до $\sigma = 0$, можно определить ($\mu = 0,26$), характерное для строго упругого состояния и соответствующее деформации одной только матрицы. В случае сжатия $\mu = \mu_0 = 0,26$ остается постоянным в пределах обычно действующих напряжений как в идеально упругом материале, в более же напряженной области μ резко увеличивается и достигает значения 0,5 и больше, что свидетельствует об увеличении объема образца в условиях сжатия.

Согласно исследованиям Гиршовича [3], прочностные и пластические свойства чугуна зависят как от характера графита, так и от структуры матрицы, их можно выразить как функции модуля упругости и твердости чугуна:

$$(\text{Прочность}) = K_{\text{пр}} E_0 a H B b;$$

$$(\text{Пластичность}) = K_{\text{пл}} E_0 c H B d,$$

где $K_{\text{пр}}$ и $K_{\text{пл}}$ – коэффициенты пропорциональности;

a, b, c, d – показатели степени, характеризующие относительную зависимость прочности и пластичности от модуля упругости (графита) и твердости (матрицы) и меняющиеся в зависимости от типа нагружения.

Из приведенных выражений ясно, что прочность возрастает с увеличением модуля упругости и твердости, пластичность же повышается с увеличением модуля упругости, но понижается с увеличением твердости. Все-таки очевидно считать необоснованными зависимость прочности и пластичности от одного какого-либо свойства (E_0 или HB). Установление зависимости между прочностью и некоторой пластичностью чугуна является основополагающим в процессе ППД:

$$(\text{Пластичность}) = K [(\text{прочность})c \setminus a / HBbc + ad / a].$$

Анализ уравнения показывает, что пластичность чугуна в противоположность стали может понижаться или, наоборот, возрастать с увеличением прочности: все зависит от того, за счет чего повышается прочность.

Особенности обработки чеканкой. Нахождение оптимальной области режима ППД чугуна способом чеканки проводили с использованием метода планирования эксперимента. На основании анализа литературных источников и проведения отсеивающего эксперимента по методу насыщенных планов были выбраны три технологических параметра, которые наиболее существенно влияют на усталостную прочность серого чугуна: E_y – удельная энергия удара, V – линейная скорость обрабатываемой поверхности, n – количество проходов (таблица).

Уровни факторов и интервалы их варьирования

Наименование фактора	Уровни факторов			Интервал варьирования
	нижний –1	основной 0	верхний +1	
Удельная энергия удара E_y , Дж/мм	1,2	1,5	1,8	0,3
Линейная скорость обрабатываемой поверхности V , м/мин	1,0	2,5	4,0	1,5
Количество проходов n	1	3	5	2

Постоянные параметры процесса:

- профильный радиус ролика, мм 3
- диаметр ролика, мм 60
- частота ударов, Гц 45

Интенсивные режимы обработки вызывают нагрев наиболее деформированного верхнего слоя до 350–7000, такие температуры создают условия для термопластической деформации и других явлений, снижающих эффект упрочнения. Резкий спад остаточных сжимающих напряжений, который происходит за счет термопластической деформации, в некоторых случаях приводит к формированию растягивающих напряжений. В результате высоких давлений и температур могут происходить локальные структурные изменения.

Спад благоприятных остаточных сжимающих напряжений и структурная неоднородность вызывают ухудшение эксплуатационных свойств деталей машин. Стыки структур являются эффективными концентраторами напряжений, в которых, вероятнее всего, происходит зарождение усталостных трещин. Поэтому режимы обработки должны обеспечить образование таких температурных полей, которые не могут оказать существенного влияния на эффект упрочнения.

Как показали электронно-микроскопические исследования, прочность повышается за счет размельчения перлита. В пластинчатом перлите наблюдается сетчатая дислокационная субструктура (рис. 1).

При этом плотность дислокаций в ферритных пластинах выше (примерно в 2–3 раза), чем в цементитных. Деформационный наклеп феррита сопровождается деформированием частиц цементита, что приводит к появлению в них некоторой дислокационной субструктуры. В отдельных случаях деформирование цементитных частиц сопровождается их разрушением (рис. 2, $a - z$). В этом случае в частицах наблюдаются дислокационные скопления, микрофракционная картина фиксирует появление отражений от нескольких плоскостей обратных решеток карбидной фазы (рис. 2, b, z).

Наряду со скалярной плотностью дислокаций важную роль играют дальнедействующие поля напряжений, которые можно изучать методами дифракционной электронной микроскопии. При этом, как правило, в карбидной фазе поля напряжений носят упругий характер, в феррите – упруго-пластический.

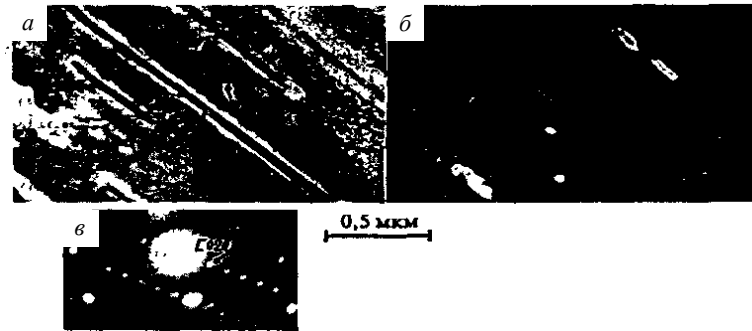


Рис. 1. Электронно-микроскопическое изображение перлитной матрицы СЧ, подвергнутого виброраскатыванию:
 а – светлопольное изображение; б – темное поле в рефлексе $[020]$ цемента;
 в – микроэлектрограмма данного участка
 (стрелками обозначены изгибные экстинкционные контуры, наблюдающиеся в феррите и цементе)

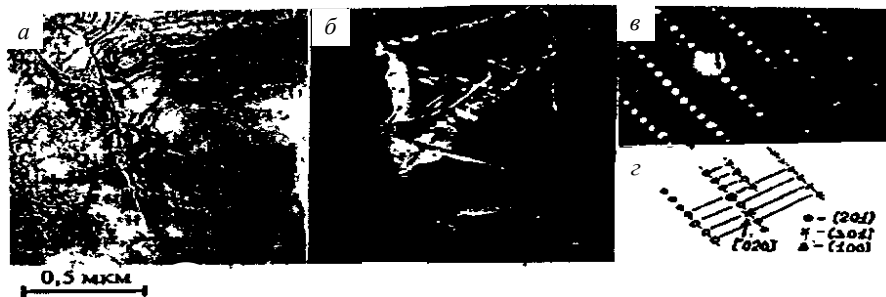


Рис. 2. Электронно-микроскопное изображение структуры, наблюдающейся
 вблизи частиц цемента и в частицах цемента:
 а – светлопольное изображение; б – темное поле в рефлексе $[020]$ цемента;
 в – микроэлектрограмма; г – схема ее идентифицирования

Высокая прочность чугуна при сжатии позволяет наиболее выгодно применять его в таком напряженном состоянии, как указывает Н. Г. Гиршович. Поэтому ППД является перспективным методом повышения надежности и долговечности деталей из СЧ, вопрос остается в подборе режимов виброраскатывания и влияния температур, при которых можно проводить этот процесс.

Таким образом:

- рассмотрено распределение напряжений, образующихся при поверхностно-пластическом деформировании серого чугуна, их влияние на изменение структуры;
- для количественного анализа структур предложена методика цифровой мультифрактальной параметризации;
- установлено, что тепловые явления при упрочнении имеют такое же влияние, как и при других видах обработки.

Теплообразование и распределение температурных полей, образующихся в процессе поверхностного пластического деформирования, имеют большое теоретическое и практическое значение. Назначение режимов обработки с учетом теплового эффекта позволит получить требуемое качество поверхности и тем самым повысить эксплуатационные свойства деталей.

Литература

1. Папшев Д.Д. Отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием. – М.: Машиностроение, 1978. – 150 с.
2. Иванова В.С., Баланкин А.С., Бунин И.Ж. Синергетика и фракталы в материаловедении. – М.: Наука, 1994. – 383 с.
3. Гиршович Н.Г. Кристаллизация и свойства чугуна в отливках. – М.: Машиностроение, 1966. – 450 с.
4. Асташкевич Б.М. Износостойкость и прочность деталей цилиндропоршневой группы транспортных двигателей // Вестник машиностроения. – 1997. – № 10. – С. 8–11.

СПИСОК ОРГАНИЗАЦИЙ – УЧАСТНИКОВ КОНФЕРЕНЦИИ И ИХ АДРЕСА

Камчатский филиал ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»

683000, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Набережная, д. 18
Тел., факс: 8 (415-2) 41-27-01
E-mail: kamniro@kamniro.ru

ФГБУН «Научно-исследовательский геотехнологический центр ДВО РАН»

683002, г. Петропавловск-Камчатский, Северо-Восточное шоссе, 30, а/я 56
Тел., факс: 8 (415-2) 49-54-35
E-mail: nigtc@nigtc.ru

ФГБОУ ВО «Астраханский государственный технический университет»

414025, г. Астрахань, ул. Татищева, 16
Тел.: 8 (512) 25-09-23
Факс: 8 (512) 25-73-68
E-mail: post@astu.org

ФГБУН «Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН»

117997, г. Москва, ул. Профсоюзная, д. 65
Тел.: 8 (495) 334-89-10
Факс: 8 (495) 334-93-40
E-mail: dan@ipu.ru

ГОУ ВПО «Донецкий национальный технический университет»

83001, Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Артема, д. 58
Тел.: +38 (062) 301-07-09
E-mail: donntu.info@mail.ru

ГОУ ВПО ЛНР «Луганский государственный университет имени Владимира Даля»

91034, Луганская Народная Республика, г. Луганск, квартал Молодежный, 20-а
Тел.: +38 (064-2) 34-48-18
Факс: +38 (064-2) 34-48-48
E-mail: dahl.univer@yandex.ru

ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет»

690922, Приморский край, о. Русский, п. Аякс, 10, кампус ДВФУ
Тел.: 8 (423) 265-24-29; 8(423) 243-34-72
Факс.: 8(423) 243-23-15
E-mail: rectorat@dvfu.ru

ГОУ ВПО «Академия гражданской защиты» Министерства по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий ДНР

Донецкая Народная Республика, г. Донецк, ул. Розы Люксембург
Тел.: +38 (062) 303-27-01
E-mail: agz@mail.dnmchs.ru

Усинский филиал ФГБОУ ВО «Ухтинский государственный технический университет»

169710, г. Усинск, ул. Нефтяников, д. 33
Тел.: +7 (82144) 29-1-74
Факс: +7 (82144) 29-6-26
E-mail: mail@ufugtu.ru

ООО «РН-Северная нефть»

169710, г. Усинск, ул. Приполярная, д. 1
Тел.: +7 (82144) 283-10
Факс: +7 (82144) 275-66
E-mail: reception@nordoil.ru

Ответственный за выпуск
О.А. Белов

***ТЕХНИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВОДНОГО ТРАНСПОРТА:
ПРОБЛЕМЫ И ПУТИ РАЗВИТИЯ***

Материалы
Третьей международной научно-технической конференции
(26 ноября 2020 г.)

В авторской редакции
Верстка, оригинал-макет Е.Е. Бабух

Подписано в печать 31.03.2021 г.
Формат 60*84/8. Печать цифровая. Гарнитура Times New Roman
Авт. л. 12,84. Уч.-изд. л. 13,34. Усл. печ. л. 16,04
Тираж 100 экз. Заказ № 4

Издательство
Камчатского государственного технического университета

Отпечатано полиграфическим участком издательства КамчатГТУ
683003, г. Петропавловск-Камчатский, ул. Ключевская, 35